



<p>(51) 国際特許分類 G02B 6/12</p>	<p>A1</p>	<p>(11) 国際公開番号 WO98/36299</p> <p>(43) 国際公開日 1998年8月20日(20.08.98)</p>		
<table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <p>(21) 国際出願番号 PCT/JP98/00626</p> <p>(22) 国際出願日 1998年2月16日(16.02.98)</p> <p>(30) 優先権データ 特願平9/30251 1997年2月14日(14.02.97) JP 特願平9/140231 1997年5月29日(29.05.97) JP</p> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION)[JP/JP] 〒163-8019 東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 Tokyo, (JP) エヌティティエレクトロニクス株式会社 (NTT ELECTRONICS CORPORATION)[JP/JP] 〒150-0031 東京都渋谷区桜丘町20番1号 Tokyo, (JP)</p> <p>(72) 発明者 ; および (75) 発明者 / 出願人 (米国についてのみ) 井上靖之(INOUE, Yasuyuki)[JP/JP] 〒310-0903 茨城県水戸市堀町2260-6 サングリーンハイツA-302 Ibaraki, (JP) 金子明正(KANEKO, Akimasa)[JP/JP] 〒310-0911 茨城県水戸市見和2丁目231-2 NTT社宅3-403 Ibaraki, (JP) 高橋 浩(TAKAHASHI, Hiroshi)[JP/JP] 〒310-0903 茨城県水戸市堀町2260-6 サングリーンハイツB-302 Ibaraki, (JP) 嶋 文明(HANAWA, Fumiaki)[JP/JP] 〒313-0022 茨城県常陸太田市真弓町3114-11 Ibaraki, (JP) 服部邦典(HATTORI, Kuninori)[JP/JP] 〒237-0063 神奈川県横須賀市追浜東1-7-1 ポートヒルII 307 Kanagawa, (JP) 横山健児(YOKOYAMA, Kenji)[JP/JP] 〒300-0034 茨城県土浦市港町2-1-18 サンレイ土浦304号 Ibaraki, (JP)</p> </td> <td style="vertical-align: top;"> <p>鈴木扇太(SUZUKI, Senichi)[JP/JP] 〒310-0853 茨城県水戸市平須町1828-641 Ibaraki, (JP) 住田 真(SUMIDA, Shin)[JP/JP] 〒305-0035 茨城県つくば市松代3-4-35 Ibaraki, (JP) 岡本勝就(OKAMOTO, Katsunari)[JP/JP] 〒310-0035 茨城県水戸市東原2-6-2-304 Ibaraki, (JP) 石井元速(ISHII, Motohaya)[JP/JP] 〒310-0903 茨城県水戸市堀町2260-6 サングリーンハイツA-301 Ibaraki, (JP) 山田裕朗(YAMADA, Hiroaki)[JP/JP] 〒312-0011 茨城県ひたちなか市中根3331-40 ハイランドコートH202 Ibaraki, (JP) 吉田卓史(YOSHIDA, Takashi)[JP/JP] 〒310-0035 茨城県水戸市東原2丁目6番地 NTT東原住宅1棟201号室 Ibaraki, (JP) 有島功一(ARISHIMA, Koichi)[JP/JP] 〒310-0911 茨城県水戸市見和2丁目231-2 NTT社宅2-204 Ibaraki, (JP) 海老澤文博(EBISAWA, Fumihiko)[JP/JP] 〒311-0101 茨城県那珂郡那珂町本米崎1681-3 Ibaraki, (JP) 中原基博(NAKAHARA, Motohiro)[JP/JP] 〒310-0851 茨城県水戸市千波町2279-13 Ibaraki, (JP)</p> <p>(74) 代理人 弁理士 鈴江武彦, 外(SUZUYE, Takehiko et al.) 〒100-0013 東京都千代田区霞が関3丁目7番2号 鈴榮内外閣特許事務所 Tokyo, (JP)</p> <p>(81) 指定国 CA, JP, KR, US, 欧州特許 (DE, FR, GB, IT, SE).</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p> </td> </tr> </table>			<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP98/00626</p> <p>(22) 国際出願日 1998年2月16日(16.02.98)</p> <p>(30) 優先権データ 特願平9/30251 1997年2月14日(14.02.97) JP 特願平9/140231 1997年5月29日(29.05.97) JP</p> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION)[JP/JP] 〒163-8019 東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 Tokyo, (JP) エヌティティエレクトロニクス株式会社 (NTT ELECTRONICS CORPORATION)[JP/JP] 〒150-0031 東京都渋谷区桜丘町20番1号 Tokyo, (JP)</p> <p>(72) 発明者 ; および (75) 発明者 / 出願人 (米国についてのみ) 井上靖之(INOUE, Yasuyuki)[JP/JP] 〒310-0903 茨城県水戸市堀町2260-6 サングリーンハイツA-302 Ibaraki, (JP) 金子明正(KANEKO, Akimasa)[JP/JP] 〒310-0911 茨城県水戸市見和2丁目231-2 NTT社宅3-403 Ibaraki, (JP) 高橋 浩(TAKAHASHI, Hiroshi)[JP/JP] 〒310-0903 茨城県水戸市堀町2260-6 サングリーンハイツB-302 Ibaraki, (JP) 嶋 文明(HANAWA, Fumiaki)[JP/JP] 〒313-0022 茨城県常陸太田市真弓町3114-11 Ibaraki, (JP) 服部邦典(HATTORI, Kuninori)[JP/JP] 〒237-0063 神奈川県横須賀市追浜東1-7-1 ポートヒルII 307 Kanagawa, (JP) 横山健児(YOKOYAMA, Kenji)[JP/JP] 〒300-0034 茨城県土浦市港町2-1-18 サンレイ土浦304号 Ibaraki, (JP)</p>	<p>鈴木扇太(SUZUKI, Senichi)[JP/JP] 〒310-0853 茨城県水戸市平須町1828-641 Ibaraki, (JP) 住田 真(SUMIDA, Shin)[JP/JP] 〒305-0035 茨城県つくば市松代3-4-35 Ibaraki, (JP) 岡本勝就(OKAMOTO, Katsunari)[JP/JP] 〒310-0035 茨城県水戸市東原2-6-2-304 Ibaraki, (JP) 石井元速(ISHII, Motohaya)[JP/JP] 〒310-0903 茨城県水戸市堀町2260-6 サングリーンハイツA-301 Ibaraki, (JP) 山田裕朗(YAMADA, Hiroaki)[JP/JP] 〒312-0011 茨城県ひたちなか市中根3331-40 ハイランドコートH202 Ibaraki, (JP) 吉田卓史(YOSHIDA, Takashi)[JP/JP] 〒310-0035 茨城県水戸市東原2丁目6番地 NTT東原住宅1棟201号室 Ibaraki, (JP) 有島功一(ARISHIMA, Koichi)[JP/JP] 〒310-0911 茨城県水戸市見和2丁目231-2 NTT社宅2-204 Ibaraki, (JP) 海老澤文博(EBISAWA, Fumihiko)[JP/JP] 〒311-0101 茨城県那珂郡那珂町本米崎1681-3 Ibaraki, (JP) 中原基博(NAKAHARA, Motohiro)[JP/JP] 〒310-0851 茨城県水戸市千波町2279-13 Ibaraki, (JP)</p> <p>(74) 代理人 弁理士 鈴江武彦, 外(SUZUYE, Takehiko et al.) 〒100-0013 東京都千代田区霞が関3丁目7番2号 鈴榮内外閣特許事務所 Tokyo, (JP)</p> <p>(81) 指定国 CA, JP, KR, US, 欧州特許 (DE, FR, GB, IT, SE).</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP98/00626</p> <p>(22) 国際出願日 1998年2月16日(16.02.98)</p> <p>(30) 優先権データ 特願平9/30251 1997年2月14日(14.02.97) JP 特願平9/140231 1997年5月29日(29.05.97) JP</p> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION)[JP/JP] 〒163-8019 東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 Tokyo, (JP) エヌティティエレクトロニクス株式会社 (NTT ELECTRONICS CORPORATION)[JP/JP] 〒150-0031 東京都渋谷区桜丘町20番1号 Tokyo, (JP)</p> <p>(72) 発明者 ; および (75) 発明者 / 出願人 (米国についてのみ) 井上靖之(INOUE, Yasuyuki)[JP/JP] 〒310-0903 茨城県水戸市堀町2260-6 サングリーンハイツA-302 Ibaraki, (JP) 金子明正(KANEKO, Akimasa)[JP/JP] 〒310-0911 茨城県水戸市見和2丁目231-2 NTT社宅3-403 Ibaraki, (JP) 高橋 浩(TAKAHASHI, Hiroshi)[JP/JP] 〒310-0903 茨城県水戸市堀町2260-6 サングリーンハイツB-302 Ibaraki, (JP) 嶋 文明(HANAWA, Fumiaki)[JP/JP] 〒313-0022 茨城県常陸太田市真弓町3114-11 Ibaraki, (JP) 服部邦典(HATTORI, Kuninori)[JP/JP] 〒237-0063 神奈川県横須賀市追浜東1-7-1 ポートヒルII 307 Kanagawa, (JP) 横山健児(YOKOYAMA, Kenji)[JP/JP] 〒300-0034 茨城県土浦市港町2-1-18 サンレイ土浦304号 Ibaraki, (JP)</p>	<p>鈴木扇太(SUZUKI, Senichi)[JP/JP] 〒310-0853 茨城県水戸市平須町1828-641 Ibaraki, (JP) 住田 真(SUMIDA, Shin)[JP/JP] 〒305-0035 茨城県つくば市松代3-4-35 Ibaraki, (JP) 岡本勝就(OKAMOTO, Katsunari)[JP/JP] 〒310-0035 茨城県水戸市東原2-6-2-304 Ibaraki, (JP) 石井元速(ISHII, Motohaya)[JP/JP] 〒310-0903 茨城県水戸市堀町2260-6 サングリーンハイツA-301 Ibaraki, (JP) 山田裕朗(YAMADA, Hiroaki)[JP/JP] 〒312-0011 茨城県ひたちなか市中根3331-40 ハイランドコートH202 Ibaraki, (JP) 吉田卓史(YOSHIDA, Takashi)[JP/JP] 〒310-0035 茨城県水戸市東原2丁目6番地 NTT東原住宅1棟201号室 Ibaraki, (JP) 有島功一(ARISHIMA, Koichi)[JP/JP] 〒310-0911 茨城県水戸市見和2丁目231-2 NTT社宅2-204 Ibaraki, (JP) 海老澤文博(EBISAWA, Fumihiko)[JP/JP] 〒311-0101 茨城県那珂郡那珂町本米崎1681-3 Ibaraki, (JP) 中原基博(NAKAHARA, Motohiro)[JP/JP] 〒310-0851 茨城県水戸市千波町2279-13 Ibaraki, (JP)</p> <p>(74) 代理人 弁理士 鈴江武彦, 外(SUZUYE, Takehiko et al.) 〒100-0013 東京都千代田区霞が関3丁目7番2号 鈴榮内外閣特許事務所 Tokyo, (JP)</p> <p>(81) 指定国 CA, JP, KR, US, 欧州特許 (DE, FR, GB, IT, SE).</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>			
<p>(54)Title: OPTICAL WAVEGUIDE CIRCUIT, ITS MANUFACTURING METHOD AND OPTICAL WAVEGUIDE MODULE HAVING THE OPTICAL WAVEGUIDE CIRCUIT</p> <p>(54)発明の名称 光導波回路及び製造方法並びに該光導波回路を有する光導波回路モジュール</p> <div data-bbox="462 1407 1161 1743"> </div> <p>(57) Abstract</p> <p>An optical waveguide circuit includes a plurality of waveguides with different lengths. Grooves (12) are formed in the waveguide by removing the upper cladding and the core of the waveguide (4) or by removing the upper cladding, the core and the lower cladding of the waveguide (4), and filled with a material (10) which have a refractive index temperature coefficient whose sign is different from the temperature coefficient of the effective refractive index of the waveguide. The difference between the lengths of the removed parts of the adjacent waveguides is proportional to the difference between the lengths of the remaining parts of the adjacent waveguides.</p>				

(57) 要約

長さの異なる複数の導波路を含む光導波回路において、  
前記導波路の実効屈折率と温度係数と異なる符号の屈折率温度係数を有する材料(10)を、前記導波路(4)の上部クラッドとコアを除去した溝(12)、または上部クラッドとコアと下部クラッドを除去した溝(12)に充填する。また隣接する導波路間で除去された導波路の長さの差分を、除去されずに残った導波路の長さの差分に比例させる。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AL	アルバニア	FI	フィンランド	LT	リトアニア	SN	セネガル
AM	アルメニア	FR	フランス	LV	ラトヴィア	SD	スーダン
AT	オーストリア	GB	英国	MC	モナコ	TG	トーゴ
AZ	アゼルバイジャン	GE	ジョージア	MD	モルドバ	TJ	タジキスタン
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GM	ガナ	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BB	バルバドス	GN	ギニア	MK	マケドニア共和国	TR	トルコ
BE	ベルギー	GW	ギニア・ビサウ	ML	マリ	UA	ウクライナ
BF	ブルキナ・ファソ	GR	ギリシャ	MN	モンゴル	UG	ウガンダ
BG	ブルガリア	HU	ハンガリー	MR	モーリタニア	US	米国
BJ	ベナン	IE	アイルランド	MX	メキシコ	UZ	ウズベキスタン
BR	ブラジル	ID	インドネシア	NE	ニジェール	VN	ベトナム
BY	ベラルーシ	IL	イスラエル	NL	オランダ	WU	ウイグル
CA	カナダ	IT	イタリア	NO	ノルウェー	ZW	ジンバブエ
CC	中央アフリカ共和国	JP	日本	NZ	ニュージーランド		
CH	スイス	KE	ケニア	PL	ポーランド		
CN	中国	KR	韓国	PT	ポルトガル		
CU	キューバ	KZ	カザフスタン	RO	ルーマニア		
CY	キプロス	LC	セント・ルシア	RU	ロシア		
DE	ドイツ	LI	リヒテンシュタイン	SD	スーダン		
DK	デンマーク	LR	リベリア	SG	シンガポール		
EE	エストニア	LS	レソト	SK	スロバキア		
				SL	シエラレオネ		

## 明細書

光導波回路及び製造方法並びに該光導波回路を有する光導波回路モジュール

## 〔技術分野〕

本発明は、光通信又は光情報処理の分野で用いられる光導波回路及び製造方法並びに該光導波回路を有する光導波回路モジュールに関し、特に、光学特性が温度に依存しない導波型光素子、さらに詳しくは、光学特性が温度に依存しない、平面基板上に形成された導波路により構成された光波長合分波器の如き光導波回路に関する。

## 〔背景技術〕

近年、シリコン基板上に形成した石英系ガラス光導波路によって構成されたプレーナ光波回路（PLC）の研究開発が盛んに行われている。

かかるプレーナ光波回路においては、アレイ導波路型波長合分波器（AWG）やマッハツェンダ干渉計（MZI）のように、多光束又は2光束の光の干渉を用いて、光波長合分波機能を実現している。

前記アレイ導波路型波長合分波器では、並列に配置された互いにその長さが $\Delta L$ ずつ異なる数十～数百本のアレイ導波路を伝搬した複数の光の干渉により、多数の波長を含む波長多重光の合波・分波を一括して行える特徴を有し、波長多重光通信のキーデバイスとして注目されている。

詳しくは、H. Takahashi et al., Arrayed-Waveguide Grating for Wavelength Division Multi/Demultiplexer With N

anometre Resolution, Electron. Lett., vol.26, no.2, pp .87-88, 1990. に記載されている。

図1に従来のアレイ導波路型波長合分波器の回路構成を、図2に図1中a a線の拡大断面図を、図3に中心入力ポートから中心出力ポートへ透過率スペクトルの一例を示す。

図1、図2において、Si基板1に、入力導波路2、第1のスラブ導波路3、アレイ導波路4、第2のスラブ導波路5、出力導波路6、導波路コア7、クラッド8が設けられている。

図3から、特定の波長のみが透過し、それ以外の波長の光は阻止されていることが分かる。

また、透過帯域も約1nmと狭帯域な特性が得られている。この最も透過率が最大となる波長 $\lambda_c$ は、次式で与えられる。

$$\lambda_c = n \times \Delta L / m \quad (1)$$

ここで、mは回折次数であり、nは導波路の実効屈折率である。また、 $\Delta L$ は隣接したアレイ導波路間の長さの差であり、具体的には10～100 $\mu$ m程度の値である。

(1)式にあるように、 $\lambda_c$ は導波路の光路長（実効屈折率と長さの積）の差、 $n \times \Delta L$ で決定されるが、光路長差は温度に依存しているため、結果的に $\lambda_c$ は温度に依存する。

図4に、25度、50度、75度の各温度における透過率スペクトルを示す。さらにその $\lambda_c$ の温度依存性を図5に示す。

これらの図から分かるように、50℃の温度変化に対して $\lambda_c$ は約0.5nmも変化してしまう。ちなみに、石英系導波路の光路長温度係数 $(1/\Delta L) \times d(n \cdot \Delta L)/dT$

は、約  $1 \times 10^{-5}$  ( $1/^\circ\text{C}$ ) であることが知られており、 $\lambda_c$  の温度係数  $d\lambda_c/dT$  の計算値は約  $0.01$  ( $\text{nm}/^\circ\text{C}$ ) で、図 5 の結果と一致している。従って、気温変化が  $10^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$  程度の環境の中でアレイ導波路型波長合分波器を使用する際には、その温度を一定に保つための制御が必要となる。

また、図 6 はマッハツェンダ干渉計型光合分波器である。基板 101 上に、入力導波路 102、方向性結合器 103 及び 106、2 つのアーム導波路 104 および 105 が形成されている。

図 6 に示す回路の透過率の波長依存性は、次の (2) 式であらわされる。

$$J(\lambda) = 1/2 \times \{1 + \cos[2\pi n \Delta L / \lambda]\} \quad (2)$$

ここで、 $\lambda$  は波長、 $n$  は導波路の実効屈折率、 $\Delta L$  は 2 本のアーム導波路の長さの差である。

(2) 式より透過率が最大となる波長  $\lambda_c$  は次式で与えられる。

$$\lambda_c = n \times \Delta L / k \quad (3)$$

ここで、 $k$  は整数である。

(3) 式が (1) 式と同じ形式であることから明らかなように、MZI の  $\lambda_c$  は AWG の場合と同様の温度依存性を有する。

そのため、上記のアレイ導波路型波長合分波器やマッハツェンダ干渉計型光合分波器を使用する際には、光導波回路の

温度をペルチェ素子又はヒータを用いて一定に保つ必要があった。

さらにペルチェ素子やヒータを駆動する電源や制御装置等が必要であり、光波長合分波器全体の体積、価格を高めていた。

このため、光導波回路自体の温度依存性をなくし、温度制御を不要とすることが必要とされていた。

従来、光導波回路の温度依存性を低減する方法としては、特開平 8-5834 号公報に示されるように、導波路の一部に、屈折率の温度係数が異なる材料からなるコアを用い、 $n \cdot \Delta L$  が温度変化に対しても一定になる構成がある。

しかし、この構成では、同一の基板上に材料の異なる 2 種類のコアが混在する複雑な構造となるため、作成が容易ではなかった。

また、他の方法としては、高分子材料をクラッド層として用いたものが報告されている（例えば、Y. Kokubun et al, "Temperature-Independent Narrow-Band Filter by Athermal Waveguide", ECOC'96, WeD.1.5）。

しかしながら、本方法では、温度変化に対して光路長を一定に保つため、クラッド材料の屈折率の大きな温度変化を利用しているため、温度が変わるとコアとクラッドの屈折率の差が変化し、最悪の場合は導波路が光を導入しない虞れがあり、広範囲の環境温度変化には対応できない。

本発明の目的は、波長特性の温度依存性を低減できる、簡易で、かつ作成が容易な構造を実現し、温度制御が不要な光

導波回路及び製造方法並びに該光導波回路を有する光導波回路モジュールを提供することにある。

[発明の開示]

上記課題を達成するために、本発明の態様 1 は、長さの異なる複数の導波路を含む光導波回路において、前記導波路の実効屈折率の温度係数と異なる符号の屈折率温度係数を有する材料（以下「温度補償材料」と記載する。）が、上部クラッドとコアを除去した溝、または、上部クラッドとコアと下部クラッドを除去した溝に挿入され、隣接する導波路間で除去された導波路の長さの差分が、前記複数の導波路の長さの差に比例していることを特徴としている。

また、本発明の態様 2 は、導波路を石英系ガラスで製作することを特徴とし、導波路の実効屈折率の温度係数は正の値（ $1 \times 10^{-5}$  程度）であるので、温度補償材料としては負の屈折率温度係数のものを用いる。

本発明の態様 3 は、前記上部クラッドとコアを除去した溝、または上部クラッドとコアと下部クラッドを除去した溝の前後に、ビームコリメータ導波路またはレンズが形成されていることを特徴とする。

また、本発明の態様 4 は、複数の導波路が所定の長さで順次長くなるアレイ導波路で構成され、該アレイ導波路は両端部でスラブ導波路に接続し、該アレイ導波路の途中には該アレイ導波路を横断して幅が順次増加する溝が形成され、溝内に温度補償材料が充填されていることを特徴とする。

また、本発明の態様 5 は、前記複数の導波路が所定の長さ

で順次長くなるアレイ導波路で構成され、該アレイ導波路が両端部でスラブ導波路に接続され、該スラブ導波路には幅が少しずつ増加する溝が形成され、該溝内に温度補償材料が充填されていることを特徴とする。

また、本発明の態様 6 は、複数の導波路が長さの異なる 2 本のアーム導波路で構成され、前記アーム導波路は両端部で方向性結合器に接続され、前記アーム導波路の内の長い方の導波路に溝が形成され、溝内に温度補償材料が充填されていることを特徴としている。

本発明の態様 7 は、温度補償材料の屈折率温度係数の絶対値が導波路の有効屈折率の温度係数に対して 20 倍以上であることを特徴とする。

本発明の態様 8 は、溝が前記アレイ導波路もしくはアーム導波路を 80°～85°の角度で横切っていることを特徴とする。

本発明の態様 9 は、溝が複数本あることを特徴とする。

本発明の態様 10 は、前記複数の溝の少なくとも 2 つ以上が互いに連結されていることを特徴とする。

本発明の態様 11 は、溝の角の形状が丸みを帯びていることを特徴とする。

本発明の態様 12 は、温度補償材料がポリシロキサンまたはポリシロキサンの架橋物であることを特徴とする。

また、本発明の態様 13 は、温度補償材料が、ポリオレフィンの末端に OH 基、チオール基、カルボニル基、ハロゲン基を少なくとも一つ有する高分子材料であることを特徴とす



る。

また、本発明の態様 1 4 は、溝が前記光導波路面で限定された領域に形成され、溝および溝に充填された温度補償材料が光導波路表面に配置した蓋で気密防止されていることを特徴とする。

本発明の態様 1 5 は、前記蓋の代わりに、溝に充填した温度補償材料とは異なる材料で、温度補償材料が覆われていることを特徴とする。

本発明の態様 1 6 は、スラブ導波路の端部の所定の位置に入力光を導く光ファイバが接続されたことを特徴とする。

本発明の態様 1 7 は、前記スラブ導波路のうち少なくとも一方のスラブ導波路を横断する線上において、2つの光導波回路基板の位置関係が適切な位置で接続されていることを特徴とする。

本発明の態様 1 8 は、前記接続されている2つの導波路基板の境界線が、第一のスラブ導波路を通っており、かつ入力導波路とアレイ導波路とを結ぶ線にほぼ垂直であるか、又は、第二のスラブ導波路を通っており、かつ出力導波路とアレイ導波路とを結ぶ線にほぼ垂直であることを特徴とする。

本発明の態様 1 9 は、前記態様 1 6 ないし 1 7 のいずれかの光導波回路の製造方法であって、

前記スラブ導波路と入力ファイバ、又はスラブ導波路とスラブ導波路を接続するときに、使用波長の光を透過させて、その損失が最も小さくなるように互いの相対的な位置を定めて接着固定することを特徴とする。

本発明の態様 20 は、前記態様 16 ないし 17 のいずれかの光導波回路の製造方法であって、

前記スラブ導波路と入力ファイバ、又はスラブ導波路とスラブ導波路を接続するときに、広帯域なスペクトルを有する光を透過させて、その損失が最も小さくなるように基板と垂直な方向の位置を合わせ、透過波長が所定の値になるように基板と水平な方向の位置を合わせ、最終的に接続固定することを特徴とする。

本発明の態様 21 は、1 本又は複数本の入力ファイバ、1 本又は複数本の出力ファイバ、態様 1 から 18 のいずれかの光導波回路、ブーツ、ケースおよび緩衝材からなる光導波回路モジュールであって、

前記入力ファイバおよび出力ファイバが前記導波路端面に接続固定されており、さらに前記入力ファイバおよび出力ファイバが前記ブーツに固定されており、該ブーツは前記ケースに固定されており、該ケースと前記光導波回路の間には緩衝材が充填されていることを特徴とする。

[図面の簡単な説明]

図 1 は従来技術によるアレイ導波路型波長合分波器の構成図。

図 2 は図 1 における a a 線の拡大断面図。

図 3 は従来技術のアレイ導波路型波長合分波器の透過率スペクトルの一例を示すグラフ。

図 4 は従来技術によるアレイ導波路型波長合分波器の透過率スペクトルの温度依存性を示すグラフ。

図 5 は従来技術によるアレイ導波路型波長合分波器の透過率が最大となる波長の温度依存性を示すグラフ。

図 6 は従来の導波路型マッハツェンダ干渉計の構成図。

図 7 は本発明の基本的な原理を示す光導波回路の構成図。

図 8 は第 1 の実施例による温度無依存アレイ導波路型波長合分波器（AWG）の構成図。

図 9 は図 8 における b b' 線の拡大断面図。

図 10 は本発明の導波路の製作法を示すフローチャート

図 11 は第 1 の実施例による温度無依存アレイ導波路型波長合分波器の透過率スペクトルの温度依存性を示すグラフ。

図 12 は第 1 の実施例による温度無依存アレイ導波路型波長合分波器の中心波長の温度依存性を示すグラフ。

図 13 は第 3 の実施例による温度無依存アレイ導波路型波長合分波器の構成図。

図 14 は図 12 における c c' 線の拡大断面図。

図 15 は溝により削除された導波路部分の長さと放射損失との関係（計算結果）を示すグラフ。

図 16 は第 4 の実施例の温度無依存アレイ導波路型波長合分波器におけるアレイ導波路の溝加工部分の拡大図。

図 17 は本発明の第 5 の実施例の光導波回路を示すもので、アレイ導波路格子に波長板を入れた状態の構成図。

図 18 は本発明の第 6 の実施例の光導波回路を示すもので、アレイ導波路格子の中央に波長板を入れた状態の構成図。

図 19 は本発明の第 7 の実施例による温度無依存アレイ導波路型波長合分波器（気密封止前の図）の構成図。

図20は本発明の第7の実施例による温度無依存アレイ導波路型波長合分波器（気密封止後の図）の構成図。

図21は図20におけるd d'線の拡大断面図。

図22は第7の実施例による温度無依存アレイ導波路型波長合分波器の中心波長の湿度依存性（25℃での測定）を示すグラフ。

図23は本発明の第8の実施例による温度無依存アレイ導波路型波長合分波器（シリコン樹脂の上にエポキシ樹脂を塗布したもの）の構成図。

図24は図23におけるe e'線の拡大断面図。

図25は本発明の第9の実施例による温度無依存アレイ導波路型波長合分波器（入力ファイバを第一のスラブ導波路端に接続したもの）の構成図。

図26は本発明の第10の実施例による温度無依存アレイ導波路型波長合分波器（第一のスラブ導波路でアレイ導波路型波長合分波器が分離・接続されているもの）の構成図。

図27は本発明の第11の実施例による温度無依存マッハツェンダ干渉計波長合分波器の構成図。

図28は本発明の第11の実施例による温度無依存マッハツェンダ干渉計型波長合分波器の透過率スペクトルを示すグラフ。

図29は本発明の第11の実施例によるマッハツェンダ干渉計型波長合分波器における溝加工・シリコン樹脂を充填する前後の透過波長の温度依存性の変化を示すグラフ。

図30は第12の実施例によるアレイ導波路型波長合分波

器の透過率スペクトルの一例を示すグラフ。

図31は第13の実施例による温度無依存アレイ導波路型波長合分波器の構成図。

図32は第14の実施例による温度無依存アレイ導波路型波長合分波器の構成図。

図33は図32におけるf f'線の拡大断面図。

図34は第15の実施例による温度無依存アレイ導波路型波長合分波器モジュールの概略外観図。

図35は第15の実施例による温度無依存アレイ導波路型波長合分波器モジュールの側面図。

図36は同実施例の温度無依存アレイ導波路型波長合分波器の製作手順を示すフローチャート。

図37A、図37Bは第16の実施例によるビームコリメータ導波路を有する温度無依存アレイ導波路型波長合分波器を示すもので、図37Aは平面構成図、図37Bは溝近傍の拡大平面図。

図38A、図38Bは第17の実施例によるコリメータレンズを有する温度無依存アレイ導波路型波長合分波器を示すもので、図38Aは平面構成図、図38Bは溝近傍の拡大平面図。

[発明を実施するための最良の形態]

好適実施例の説明に先立ち、図7に示す光導波回路を用いて本発明の原理を詳述する。図7は複数の導波路を有する光導波回路の一例を示したものであり、導波路111、112の途中に、この導波路111、112とは異なる符号の屈折

率の温度係数をもつ材料（温度補償材料）が、溝 113, 114 にて充填されている。導波路 111, 112 は、分岐・合流部 115, 116 にて分岐・合流している。

ここで、導波路の実効屈折率の温度係数を  $dn_1/dT$ 、温度補償材料の屈折率の温度係数を  $dn_2/dT$ 、導波路 111 の長さ（溝 113 を除く）を  $L_1$ 、導波路 112 の長さ（溝 114 を除く）を  $L_2$ 、溝 113 の長さを  $L_1'$ 、溝 114 の光路長を  $L_2'$  とする。

2 本の導波路 111, 112 を伝搬する光の位相差が温度変化に対して変化しない（以下、温度無依存性とする）ためには、2 本の導波路の光路長差が温度に対して変化しない、即ち、次式が成立する必要がある。

$$\begin{aligned} L_1 \times (dn_1/dT) + L_1' \times (dn_2/dT) \\ = L_2 \times (dn_1/dT) + L_2' \times (dn_2/dT) \end{aligned} \quad (4)$$

上式を変形して、

$$\begin{aligned} (L_1 - L_2) \times (dn_1/dT) \\ = (L_2' - L_1') \times (dn_2/dT) \end{aligned} \quad (5)$$

が得られる。

ここで、 $L_1 > L_2$  とすると、 $(dn_1/dT)$  および  $(dn_2/dT)$  が同符号の場合は  $L_1' < L_2'$  であり、異符号の場合は  $L_1' > L_2'$  である。すなわち、導波路の屈折率温度係数と温度補償材料の屈折率温度係数が同符号の場合は、長い導波路に短い溝を作成し、短い導波路に長い溝を作成することになり、光回路が長くなってしまう。

これに対して、異符号の場合は  $L_1' > L_2'$  であり、長い導波路に長い溝を作製し、短い導波路に短い溝を作製することになり、光回路をコンパクトにできる。

また、式5から分かるように、溝の長さ差分が導波路の差分に比例するように各溝の長さを設計することが重要な点であり、またこの関係を満たすなら、 $L_2' = 0$  としても良い。

アレイ導波路型波長合分波器のように一定の長さで順次長くなる多数の導波路を有する場合には、隣接する導波路間で(式5)を満たす必要があるから、順次長くなる導波路に応じて一定の長さで順次長くなる溝を設けることになる。

また、溝においては、導波構造がないので、回折により光の強度分布が拡がり、損失が生じる。このため、溝が小さい方が損失は小さい。溝の長さは、(式5)に従い、 $(L_2' - L_1')$  ずつ増加する。従って、 $dn_2 / dT$  の絶対値が大きい材料を用いれば溝を短くすることができる。

温度補償材料としては、たとえば、ベンゼン、トルエン等の芳香族化合物、シクロヘキサン等の環状炭化水素化合物、イソオクタン、 $n$ -ヘキサン、 $n$ -オクタン、 $n$ -デカン、 $n$ -ヘキサデカン等の直鎖炭化水素化合物、四塩化炭素等の塩化物、2硫化炭素等の硫化物、メチルエチルケトン等のケトン類などの低分子材料、

また、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリブチレン等のポリオレフィン、ポリブタジエン、天然ゴム等のポリジエン、ポリスチレン、ポリ酢酸ビニル、ポリメチルビニルエーテル、ポリエチルビニルエーテル、ポリアクリル酸、ポリアクリル

酸メチル、ポリメタクリル酸、ポリメタクリル酸メチル、ポリメタクリル酸ブチル、ポリメタクリル酸ヘキシル、ポリメタクリル酸ドデシル等のビニル重合体、直鎖オレフィン系のポリエーテルや、ポリフェニレンオキシド（PPO）、およびその共重合体やブレンド体、エーテル基とスルホン基を混在させたポリエーテルスルホン（PES）、エーテル基とカルボニル基を混在させたポリエーテルケトン（PEK）、チオエーテル基を持つポリフェニレンスルフィド（PPS）やポリスルホン（PSO）等のポリエーテル、およびその共重合体やブレンド体、またポリオレフィンの末端にOH基、チオール基、カルボニル基、ハロゲン基などの置換基を少なくとも一つ有するもの、例えば、 $\text{HO}-(\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C})_n-(\text{C}-\text{C}(\text{C}-\text{C})_m)-\text{OH}$ など、ポリエチレンオキシド、ポリプロピレンオキシド等のポリオキシドやポリブチルイソシアナート、ポリフッ化ビニリデン等の高分子材料、

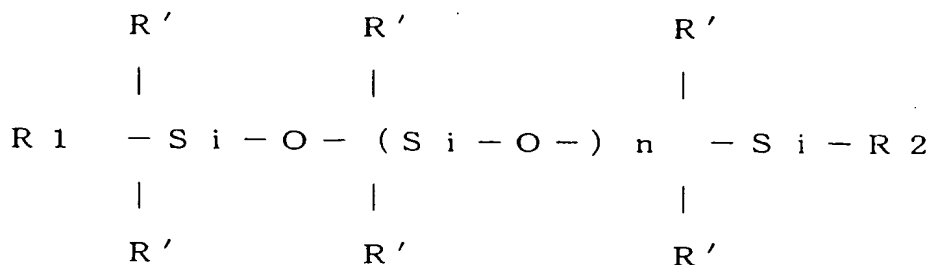
さらには、エポキシ樹脂、オリゴマ物と硬化剤による架橋物がある。

またさらには、これらの材料を2種以上を混合したものを、使用してもよい。

さらに付け加えるならば、ポリシロキサンまたはポリシロキサンの架橋物（一般には、シリコーン樹脂と呼ばれている。）を用いることがよい。この材料は、屈折率の温度係数が大きいだけでなく、耐水性、長期安定性に優れ、本発明の温度補償材料として最も適当なものである。



ポリシロキサンは、下記一般式で示される。



式中、R1、R2は末端基を示し、水素、アルキル基、水酸基、ビニル基、アミノ基、アミノアルキル基、エポキシ基、アルキルエポキシ基、アルコキシエポキシ基、メタクリレート基、クロル基、アセトキシ基のいずれかからなる。

R'は側鎖基を示し、水素、アルキル基、アルコキシ基、水酸基、ビニル基、アミノ基、アミノアルキル基、エポキシ基、メタクリレート基、クロル基、アセトキシ基、フェニル基、フロロアルキル基、アルキルフェニル基およびシクロヘキサン基からなる。搭載するポリシロキサンは1種類でも複数の種類を混合してもよい。

一方、ポリシロキサンの架橋物は、末端基がビニル基、水素、シラノール基、アミノ基、エポキシ基、カルビノール基を有する反応性ポリシロキサンとポリシロキサンを白金触媒、ラジカル、酸性、塩基等の存在下で反応させたものである。また、搭載するポリシロキサンを柔らかいゲル状にしたもの、およびゲル状のポリシロキサンに低分子量のポリシロキサンを含有させた複合物、高分子材料量のポリシロキサンと低分子量のポリシロキサンとを混合しておき架橋反応させたものも、使用できる。

以下、上述した本発明の原理に従う、本発明の好適実施例を説明する。全ての実施例において、温度補償材料としては、上記シリコン樹脂を使用したか、先述のその他の材料を用いても同様の効果が得られる。

(実施例 1)

図 8 に本発明の第 1 の実施例としての温度無依存アレイ導波路型波長合分波器を、図 9 に図 8 中  $b-b'$  線の拡大断面図を示す。図 8 のアレイ導波路 4 には、従来技術のアレイ導波路型波長合分波器 (図 1) のアレイ導波路 4 の中央部に、溝を配置するため、直線導波路部 11 が追加されている。ここで、1 は Si 基板、2 は入力導波路、3 は第 1 のスラブ導波路、5 は第 2 のスラブ導波路、6 は出力導波路、12 は溝である。

ここで、本発明の導波路の作製法について図 10 を参照して説明する。

ステップ Q1 : Si 基板 1 上に火炎堆積法で石英系のガラスを  $30\ \mu\text{m}$  堆積し、電気炉中で透明化する。

ステップ Q2 : その後、ステップ Q1 で堆積したガラス膜上に、Ge を添加したコアガラスを  $7\ \mu\text{m}$  火炎堆積法で堆積し、電気炉中で透明化する。

ステップ Q3 : その後、フォトリソグラフィと反応性エッチング法でコアガラスをパターン化する。

ステップ Q4 : 最後に、石英系ガラスを  $30\ \mu\text{m}$  堆積して、透明化する。

この一連の作業によって伝搬損失が低い石英系埋め込み導

波路が作製される。

アレイ導波路型波長合分波器のパラメータは、隣接するアレイ導波路間の長さの差 $\Delta L$ は $50\text{ }\mu\text{m}$ 、アレイ導波路4の本数は100本、導波路の比屈折率差は0.45%とした。この設計で波長チャンネル間隔 $1.6\text{ nm}$ 、8入力8出力の波長合分器が実現される。

導波路を作製した後、直線導波路部11に、2本の楔型をした溝12をダイシング・ソーで加工した。この溝12はサンプルをわずかずつ回転させながらダイシング・ソーで溝を重ね切りすることによって実現した。溝12はアレイ導波路4の最も光路長の短い導波路で溝幅が狭くなるよう、最も光路長の長い導波路で溝幅が広くなるよう加工した。具体的には溝で削られる導波路の部分の長さが $0.6\text{ }\mu\text{m}$ ずつ増加するようにした。このとき溝により削られる導波路の長さは $20\text{ }\mu\text{m}$ から $80\text{ }\mu\text{m}$ である。また溝の深さは $100\text{ }\mu\text{m}$ とした。最後にこの溝12にシリコーン樹脂を滴下し、加熱し、硬化させた。このシリコーン樹脂の光路長温度係数は、石英系導波路の約 $-40$ 倍で、 $-4 \times 10^{-4}$ だった。

作製したアレイ導波路型波長合分波器の透過率スペクトルの温度依存性を図11に示す。25度～75度の温度範囲でほとんど変化していないことがわかる。また透過波長の温度依存性を図12に示す。図11を図3と比較すると、その透過波長における透過率が2dB程度低くなっていることがわかる。これは、溝12における放射損失によるものである。図12から、0～80度の温度範囲で透過波長の変化は0.

0.5 nm以下であることがわかる。この値はチャンネル間隔1.6 nmに比較して十分に小さい値であるため、ペルチェ素子やヒータを用いた温度制御が不要になる。このため電源や温度コントローラなどの部品が不要になり、大幅なコスト低減、コンパクト化が実現された。

(実施例2)

本実施例は、温度補償材料として、ポリメチルフェニルシロキサンのゲル化物を用いた点を除き、実施例1と同じである。本実施例では、ビニル末端ポリメチルフェニルシロキサン、メチルハイドライドシロキサン及び白金触媒を該溝に入れ、150℃で、30分反応させ、温度補償材料とした。実施例1とほぼ同様の効果が確認された。

(実施例3)

図13に本発明の第3の実施例としての温度無依存アレイ導波路型波長合分波器を、図14に図13中c-c'線の拡大断面図を示す。実施例1との相違点は、フォトリソグラフィと反応性イオンエッチングによって幅の狭い溝を複数本作製していることである。図15に示すように、溝幅、すなわち、削除された導波路の長さに対して放射損失が急速に増加する。従って、例えば、100 μmの溝が一個所有するよりも、10 μmの溝が10個所あるほうが、損失は低くなる。

そこで、エッチングの再現性を考慮し、最小溝幅を10 μmとし、溝の本数は5本とした。削除された導波路の長さは0.25 μmずつ増加する。このときの放射損失は1 dBであった。実施例1に比較すると、その放射損失は半分に減少

しており、本実施例の効果が確認できた。

また、石英系導波路とシリコーン樹脂との界面におけるその反射を抑制するために、溝13と直線導波路11との成す角を90度から5度傾けた。その結果、反射減衰量は40dB以上であった。

さらに、複数の溝を連結し、また連結部分の角を丸くすることによって、シリコーン樹脂の流れをスムーズにし、一度の滴下で全ての溝に充填されるように、工夫を凝らした。

(実施例4)

本実施例では、先の実施例の溝の形状を、図16に示すように、その先端部のみ楔型になっており、その他の部分は等幅の溝とした。

先端部の溝幅が変化している部分（楔型の部分）では、削除される導波路の長さが1.25 $\mu$ mずつ増加するようにマスク上で設計している。右端楔型の溝の幅を8～14.25 $\mu$ mまで1.25 $\mu$ mずつ変化させ、次の導波路に対してはその幅を8 $\mu$ mに戻し、もう一本の溝を追加している。

このような形状をとることによって、各々の導波路の削除されている部分の長さの合計が、1.25 $\mu$ mずつ長くなっていて、さらに導波路の削除される長さは、1か所当り最大でも14.25 $\mu$ mとすることができる。

この結果、放射損失は、合計で0.3dBと極めて小さい値であった。

(実施例5)

本実施例では、図17に示すように、実施例1と同様のア

レイ導波路格子の中央に掘られた溝の中に、主軸が基板に対して $45^\circ$ 傾いた $1/2$ 波長板46が挿入されていることが特徴である。波長板46には、ポリイミド薄膜を用い、接着剤で固定してある。

この結果、光が、アレイ導波路を伝搬する際に、そのTEモードとTMモードが交換され、入力光の偏波に $\lambda_c$ が依存しない波長合分波器を製作することができた。 $\lambda_c$ が温度に依存しない点は、実施例1と同様である。

(実施例6)

図18は実施例5と同様の原理に基づいているが、温度補償材料を入れるための溝48をアレイ導波路の中央に作成し、その溝48にシリコン樹脂と $1/2$ 波長板を入れたことを特徴としている。シリコン樹脂は温度無依存化と波長板の固定の2つの役割をはたしており、温度補償材料と兼用し、温度無依存でかつ偏波無依存のアレイ導波路型波長合分波器の作製工程を短縮できる。

(実施例7)

図19～図21に第7の実施例の温度無依存アレイ導波路型波長合分波器を示す。その光導波回路、溝形状、使用しているシリコン樹脂は、実施例3と同じであるが、ここでは、溝13およびシリコン樹脂10を、サンプル表面に配置したSiの蓋16で気密封止している点がその特徴である。その理由は、シリコン樹脂の屈折率が周囲の湿度により変化し、それに伴いアレイ導波路型波長合分波器の透過波長が変化することを防止するためである。蓋の固定には、SnPb

半田膜 15 及び 16'' を用いた。その理由は、その他の溶接や Au Sn 半田に比べて 200℃ 程度の低温で接着が可能であり、シリコン樹脂に与える影響が小さいと判断したからである。

また、蓋 16 を Si にしたのは、光導波回路基板と同じ材料を用いることにより、本温度が変化しても熱歪みが発生しないからである。この蓋 16 は、Si 基板を蓋の縁の形状にレジストをパターン化した後、その内側を KOH でウェットエッチングしてくぼみ 16' を形成し、レジスト除去後、Sn Pb の半田を Si 蓋 16 の内側全面に 10 μm 程度真空蒸着法で堆積したものである。アレイ導波路型波長合分波器の基板には蓋 16 の縁と同じ形状の Au 膜 15 を真空蒸着法とドライエッチング法で作成した。なお、蓋を固定する作業は水分・湿気が中に入らぬよう乾燥窒素雰囲気中で行った。

図 22 に気密封止前後における、室温でのアレイ導波路型波長合分波器の透過波長の湿度依存性を示す。気密封止をする前に比べて、気密封止後は透過波長が湿度に対して変動しなくなっていることがわかる。

本発明で使用した導波路は、クラッド中にコアが埋め込まれており、多数のコアがある部分では、ない部分と比較してクラッド表面が 1 μm 程度高い。このため、蓋とクラッド間に 1 μm の隙間が生じる場合がある。そこで、本実施例では、図 19 に示すように、蓋 16 よりも広い範囲にダミー導波路 23 を配置し、クラッド表面の高さが均一になるようにした。

(実施例 8)

図23、図24に本実施例の温度無依存アレイ導波路型波長合分波器を示す。本実施例の光回路構成、溝、充填したシリコン樹脂などは実施例3と同じである。その違いは、溝13にシリコン樹脂10を充填した後、溝13およびシリコン樹脂10をエポキシ系の樹脂17で覆っている点である。エポキシ系樹脂は、湿度の透過性が低く、実施例7の蓋と同様に、シリコン樹脂を湿気から守る効果がある。また、先の実施例と比較して、材料費が極めて安く、製作が容易である等の利点がある。

本実施例のアレイ導波路型波長合分波器の湿度に対する特性は、実施例7のアレイ導波路型波長合分波器と同等のものであった。

#### (実施例9)

本発明の温度無依存アレイ導波路型波長合分波器は、温度制御が不要になるという意味において、波長合分波器の低コスト化に極めて有効である。しかしながら、導波路の実効屈折率のばらつきにより、その透過波長が $\pm 0.05 \text{ nm}$ 程度サンプル毎にばらついてしまう。温度依存性のあった従来のアレイ導波路型波長合分波器において、温度を $\pm 5^\circ\text{C}$ 程度変化させることによってこの透過波長の調整を行うことができたが、本発明のアレイ導波路型波長合分波器は、その透過波長が温度に依存しなくなるため、従来のように設定温度を変えて透過波長を調整することができない。

本実施例では、この問題を解消するために、図25に示すように、入力ファイバ21からの入力光を直接第1のスラブ



導波路 3 に入射することとし、入力ファイバの位置を基板端面と平行な方向に移動させることによって、透過波長の調節を行う。

まず始めに、アレイ導波路型波長合分波器を第 1 のスラブ導波路 3 の端面で切断、研磨する。次に、入力ファイバ 2 1 をマーカ 1 8 に合せ、およその接続位置とする。

ここで、所望の透過させたい波長の光を入力し、出力ファイバ 2 2 からの出力が最大になるよう入力ファイバ 2 1 の接続位置を決める。この状態で紫外線硬化樹脂を用いて入力ファイバ 2 1 を基板 1 に固定する。この手法によって透過波長が所望の値に抑制された  $1 \times N$  アレイ導波路型波長合分波器を実現することが可能となった。

なお、図中、符号 2 0 はモニター導波路である。

(実施例 10)

本実施例の温度無依存アレイ導波路型波長合分波器を図 26 に示す。光導波回路構成、溝、充填するシリコン樹脂などは実施例 3 と同じものである。異なる点は、第 1 のスラブ導波路 3 を通る直線に沿って基板 1 が 2 つに分離されている点である。

作製工程について述べる。溝 1 3 の反応性イオンエッチングによる加工が終了した時点で、第 1 のスラブ導波路 3 の前後で基板を 2 つに切断する。溝 1 3 にシリコン樹脂を充填した後、アレイ導波路型波長合分波器の両脇に配置したモニター導波路 2 0 を用いて入力ファイバアレイ 2 2 と入力導波路 2 の接続、および出力ファイバアレイ 2 2 と出力導波路 6

とを接続する。

次に、切断前にはつながっていたマーカ線 19 を目印に 2 つの基板の位置を合せる。引続き、2 つのモニター導波路 20 の損失が最も低くなるようにし、2 つの基板を水平にする。ここで、アレイ導波路型波長合分波器の両脇に配置したモニター導波路 20 は、図 26 に示すように、切断面に対して直角になるように設計している。最後に、例えば、4 番入力ファイバから 4 番出力ファイバへ透過させたい波長の光を入力して、4 番入力ファイバから 4 番出力ファイバへ透過する光が最も強くなるよう、互いのサンプルの相対位置を決め、紫外線硬化樹脂を用いて 2 つの基板を固定する。

本実施例の基本的な概念は実施例 9 と同じであるが、本実施例では複数の入力ポートを持つアレイ導波路型波長合分波器も実現可能である点が実施例 9 と異なる。

#### (実施例 11)

本実施例の温度無依存光波長合分波器を図 27 に示す。本実施例の波長合分波器は実施例 1 ～ 10 と異なり、マッハツェンダ干渉計型である。しかし、その温度無依存化の原理はアレイ導波路型波長合分波器の場合と基本的に等しい。本実施例のマッハツェンダ干渉計の 2 つのアーム導波路 27, 29 の長さの差は 1 mm、FSR は 1.6 nm である。長い方のアーム導波路 29 に、7  $\mu$ m 幅の溝 28 を 5 本作製し、溝 28 にシリコーン樹脂を充填した。入力ポート 24 から出力ポート 25 への透過率スペクトルを図 28 に示す。また、図 29 に、最も透過率損失の高くなる波長の温度依存性を、溝

加工・シリコン樹脂充填前と比較した結果を図29に示す。明らかにその透過波長特性が温度に依存しなくなったことがわかる。なお、図中、符号26は方向性結合器である。

(実施例12)

本実施例は、図25に示す温度無依存アレイ導波路型波長合分波器において、その入力ファイバ21をスラブ導波路3に接続するときの調芯方法に関するものである。実施例9では、入力ファイバ21の調芯を使用波長の光を入力ファイバ21から入射して、例えば4番出力ポートへ透過する光の量が最も大きくなるように入力ファイバの位置を調整すればよいと記述した。確かに、アレイ導波路型波長合分波器の透過率スペクトルが図11に示すような波形であり、且つその半値全幅(FWHM)がチャンネル間隔に対して十分に小さい場合は、実施例9の手法が最も簡便な方法である。

しかしFWHMが相対的に広い場合や、透過率スペクトルが図30に示すような波形の場合は、透過率が最大の波長が透過域の中心であるとは限らない。

この問題を解決する手法として、本実施例では光源に広い波長成分を有するファイバアンプの自然放出光(ASE)を入力ファイバ21からスラブ導波路3に入射し、基板と垂直な方向に関しては、例えば4番出力ポートへの透過光が最も大きくなるように入力ファイバの位置と定める。基板と水平な方向に関しては、例えば4番出力ポートへの透過率スペクトルを随時スペクトルアナライザで測定して、透過域の中心が所望波長となるように入力ファイバ21を調芯し、接着固

定する。

この手法を行うことにより、透過率スペクトルの形状が図 11 のような単峰の形状でない場合でも、アレイ導波路型波長合分波器の透過波長を常に必要な波長に合わせることができる。なお、本実施例の調芯手法は、図 26 の実施例 10 に対しても適用可能である。

(実施例 13)

本実施例の温度無依存アレイ導波路型波長合分波器を図 31 に示す。実施例 10 (図 26) と同様の構成であるが、基板を切断する位置が異なる。図 26 の場合は、2 つの基板の相対位置を変化させると、入力導波路とアレイ導波路の距離、すなわち、入力側光学系の焦点距離が設計値からずれてしまう。これを防ぐため本実施例では図 31 に示すように、切断線 30 を、入力導波路 2 とアレイ導波路 4 とを結ぶ線に垂直に設定した。

これにより、透過波長を所望の値に合わせるため、2 つの基板の相対位置を変化させた時でも、焦点距離を設計値に保つことができる。

(実施例 14)

図 32 に本実施例の温度無依存アレイ導波路型波長合分波器を、図 33 に図 32 中の  $f - f'$  における断面図を示す。光導路回路構成、充填するシリコン樹脂 10 などは実施例 1 と同じものである。実施例 1 (図 8) と唯一異なる点は、溝 12 が第一のスラブ導波路 3 あるいは第二のスラブ導波路 5 を横切っている点である。本実施例の温度無依存化の効果

は実施例 1 と同等であるが、溝 1 2 における放射損失は、本実施例の方が小さくなる。

(実施例 15)

図 3 4 に本実施例の温度無依存アレイ導波路型波長合分波器モジュール、図 3 5 にその側面図を示す。本実施例で用いている光導波回路および入出力ファイバは、実施例 9 に示したものと同一である。

本モジュールの作製手順を図 3 6 を用いて説明する。

ステップ R 1 : シリコン基板上に図 3 4 に示す光導波回路を形成する。

ステップ R 2 : エッチングによりアレイ導波路部に所定の溝を加工する。

ステップ R 3 : 溝にシリコン樹脂を充填する。

ステップ R 4 : 光導波回路の縁にファイバ接続補強用のガラス 3 5 を貼って、端面を研磨する。

ステップ R 5 : ガラスブロック 3 4 に固定された出力ファイバアレイ 2 2 と、出力導波路とを接続する。

ステップ R 6 : 実施例 9 に示す方法によって、入力ファイバの位置を定め、スラブ導波路と接続する。なお、入力ファイバはガラスブロック 3 4 に支持されている。

ステップ R 7 : 入出力ファイバ 2 1, 2 2 を接続した光導波回路を緩衝材 3 3 に挟んでプラスチックケース 3 2 に入れる。

ステップ R 8 : 入出力ファイバ 2 1, 2 2 とプラスチックケース 3 2 をブーツ 3 1 を介して接着固定する。

以上のステップを経ることにより、図34に示す温度無依存アレイ導波路型波長合分波器モジュールが完成する。従来のアレイ導波路型波長合分波器は、その温度が変化すると透過波長が変化してしまうため、温度制御が必要であった。このため基板をペルチェ素子やヒータに密着させる必要があった。

しかし、本発明においては、透過波長が温度に依存しないため、基板をペルチェ素子やヒータに固定する必要がなくなり、図35に示すように、弾力性のある緩衝材（クッション材）33で挟み込んでケースに入れば十分である。

さらに本実施例のモジュールでは、入出力ファイバが不意に引っ張られた時に、力が光導波回路との接続部に伝わらないように、ファイバはブーツに固定されている。

以上の工夫により、気温の変化、外部からの振動、ファイバに張力がかかるなど、実際の使用環境でも耐え得る波長合分波器モジュールが実現できた。

#### （実施例16）

本発明の第16の実施例としての温度無依存アレイ導波路型波長合分波器を図37A、図37Bに示す。アレイ導波路4に溝12を加工し、シリコン材料を充填する点において、その基本概念は実施例1と同じである。なお、導波路としては比屈折率差が0.75%のものをを用いた。この導波路は先に述べた0.45%のものと比較して、導波路の曲線部分の曲率半径を小さくできるので、より小型のAWGを設計することができる。しかしながら、導波モードのビームサイズが

小さく溝での放射損失が大きくなる虞れがある。

そこで、図中の37Bに示すように、導波路が溝12と交差する付近においてその幅が太くする構造とした。この導波路幅が徐々に変化している部分36はビームコリメータとしての役割を果たし、導波構造のない溝を光が伝搬する時の回折を小さくし、溝を光が横切るときの放射損失を低減する効果がある。テスト用の導波路で実験を行ったところ、溝の幅が $150\mu\text{m}$ の時、ビームコリメータ36がない場合は放射損失が $5.4\text{dB}$ であったが、ビームコリメータ36を付加した場合には $2.8\text{dB}$ となり、損失を大幅に低減できることを確認した。フォトリソグラフィとドライエッチングを用いる方法よりも簡便なダイシングソーで溝を作製した場合溝幅が太くなるが、その場合でも本実施例を用いれば、溝における放射損失の小さく、かつ小型な温度無依存の波長合分波器を作製することが可能となる。

(実施例17)

本発明の第17の実施例の温度無依存アレイ導波路型波長合分波器を図38A、溝12近傍における断面を図38Bに示す。本実施例でも、実施例16と同様、導波路の比屈折率差を $0.75\%$ としたが、溝12を挟んで対向する導波路端面37には曲面加工を施すことによりレンズ機能を付加した。この場合、溝内のシリコン樹脂10は導波路コア7の屈折率より小さいので、レンズ作用を持たせるために凸形状とした。

凸形状の導波路端37は、緩衝フッ酸によるウェットエッ

チングにおいてコア7よりクラッド8の方が、エッチングの速度が早いことを利用し、まずコアを5  $\mu$ m突出させた。次に、1300℃に加熱し、コアガラスが溶けて表面張力で丸くなる現象によりレンズ形状を作製した。その結果、溝幅15.0  $\mu$ mのときの放射損失は2.1 dBまで低減し、低損失の温度無依存アレイ導波路型波長合分波器が実現できた。なお、温度補償材料の屈折率が導波路よりも高い場合には、異なるエッチング液を用いて、コア部をへこませて凹レンズとすれば良い。

〔産業上の利用の可能性〕

以上詳述したように本発明の光導波回路（温度無依存波長合分波器）では、透過波長特性を安定化するための温度コントロールを不要にした。このためペルチェ素子やヒータ、そしてそれらをコントロールするセンサや電源が省略できるようになった。このことは波長合分波器のコスト、大きさが低減できるだけでなく、従来定常的に必要であった消費電力をも不要にした。これらの効果は光波長多重通信システムの構築に極めて多大な貢献をすることと思われる。



## 請求の範囲

1. 長さの異なる複数の導波路を含む光導波回路において、前記導波路は、下部クラッド、コア及び上部クラッドから構成され、

前記導波路の実効屈折率の温度係数と異なる符号の屈折率温度係数を有する材料が、前記導波路から前記上部クラッド及び前記コアを除去したことにより形成される溝、及び、前記導波路から前記上部クラッド、前記コア及び前記下部クラッドを除去したことにより形成される溝、のうち少なくとも一方に充填され、

隣接する導波路間で除去された部分の長さの差分が、除去されずに残った導波路の長さの差分に比例している光導波回路。

2. 前記下部クラッド、前記コア及び前記上部クラッドが、石英系ガラスからなる請求の範囲第1項記載の光導波回路。

3. 前記導波路から前記上部クラッド及び前記コアを除去したことにより形成される溝の前後と、前記導波路から前記コア及び前記下部クラッドを除去したことにより形成される溝の前後とに、ビームコリメータ導波路またはレンズが形成されている請求の範囲第1項又は第2項記載の光導波回路。

4. 前記複数の導波路が、所定の長さで順次長くなるアレイ導波路からなり、

該アレイ導波路の両端部に接続されるスラブ導波路を更に具備し、

該アレイ導波路の途中には、該アレイ導波路を横断して幅

が順次増加する溝が形成されている請求の範囲第1項又は第2項記載の光導波回路。

5. 前記複数の導波路が、所定の長さで順次長くなるアレイ導波路からなり、

該アレイ導波路の両端部に接続されるスラブ導波路を更に具備し、

該スラブ導波路には、幅が順次増加する溝が形成されている請求の範囲第1項又は第2項記載の光導波回路。

6. 前記複数の導波路が、長さの異なる2本のアーム導波路からなり、

該アーム導波路の両端部に接続される方向性結合器を更に具備し、

該アーム導波路の内の長い方の導波路には、溝が形成されている請求の範囲第1項又は第2項記載の光導波回路。

7. 前記溝に充填される材料の屈折率温度係数の絶対値が、前記導波路の実効屈折率の温度係数に対して20倍以上である請求の範囲第4項から第6項記載のいずれかに記載の光導波回路。

8. 前記溝が、前記チャネル導波路もしくは前記アーム導波路を80～85度の角度で横切っている請求の範囲第4項ないし第6項記載のいずれかに記載の光導波回路。

9. 前記溝が複数本ある請求の範囲第4項ないし第6項記載のいずれかに記載の光導波回路。

10. 前記複数の溝の少なくとも2つ以上が、互いに連結されている請求の範囲第9項記載の光導波回路。

11. 前記溝のかどの形状が、丸みを帯びている請求の範囲第4項ないし第6項のいずれかに記載の光導波回路。

12. 前記溝に充填される材料が、ポリシロキサンまたはポリシロキサンの架橋物である請求の範囲第4項ないし第6項のいずれかに記載の光導波回路。

13. 前記溝に充填される材料が、ポリオレフィンの末端にOH基、チオール基、カルボニル基、ハロゲン基を少なくとも一つ有する高分子材料である請求の範囲第4項ないし第6項のいずれかに記載の光導波回路。

14. 前記溝が、前記光導波路面内の限定された領域に形成され、

該溝および該溝に充填された材料が、前記領域を覆う蓋で気密封止されている請求の範囲第4項ないし第6項のいずれかに記載の光導波回路。

15. 前記蓋の代わりに、前記溝に充填した材料とは異なる材料で、該溝および該溝に充填された材料が覆われている請求の範囲第14項記載の光導波回路。

16. 前記スラブ導波路の端部の所定の位置に、入力光を導く光ファイバが接続されている請求の範囲第4項または第5項記載の光導波回路。

17. 前記スラブ導波路のうち少なくとも一方のスラブ導波路を横切る直線上で、分離した2つの光導波回路同士が接続されている請求の範囲第4項または第5項記載の光導波回路。

18. 前記接続されている2つの光導波回路の境界線が、

第一のスラブ導波路を通っており、かつ入力導波路とアレイ導波路とを結ぶ線にほぼ垂直であるか、又は、第二のスラブ導波路を通っており、かつ出力導波路とアレイ導波路とを結ぶ線にほぼ垂直である請求の範囲第17項記載の光導波回路。

19. 前記請求の範囲第16項から第18項のいずれかの記載の光導波回路の製造方法であって、

前記スラブ導波路と入力ファイバとの接続、又は、スラブ導波路とスラブ導波路との接続に際し、使用波長の光を透過させて、その損失が最も小さくなるように互いの相対的な位置を定めて接着固定する光導波回路の製造方法。

20. 前記請求の範囲第16項ないし第18項のいずれかに記載の光導波回路の製造方法であって、

前記スラブ導波路と入力ファイバとの接続、又は、スラブ導波路とスラブ導波路との接続に際し、広帯域な波長スペクトルを有する光を透過させて、基板と垂直な方向の位置合わせに関してはその損失が最も小さくなるように調芯を行い、

基板と水平な方向の位置合わせに関しては最大の透過率を与える波長が所定の値になるように調芯を行って、最終的に接続固定する

光導波回路の製造方法。

21. 1本又は複数本の入力ファイバ、1本又は複数本の出力ファイバ、請求の範囲第1項から第19項のいずれかの記載の光導波回路、ブーツ、ケースおよび緩衝材からなる光導波回路モジュールであって、

前記入力ファイバおよび出力ファイバが、前記光導波回路

端面に接続固定されており、

前記入力ファイバおよび出力ファイバが、前記ブーツに固定されており、

該ブーツは、前記ケースに固定されており、且つ該ケースと前記光導波回路との間には、緩衝材が充填されている光導波回路モジュール。

1/18

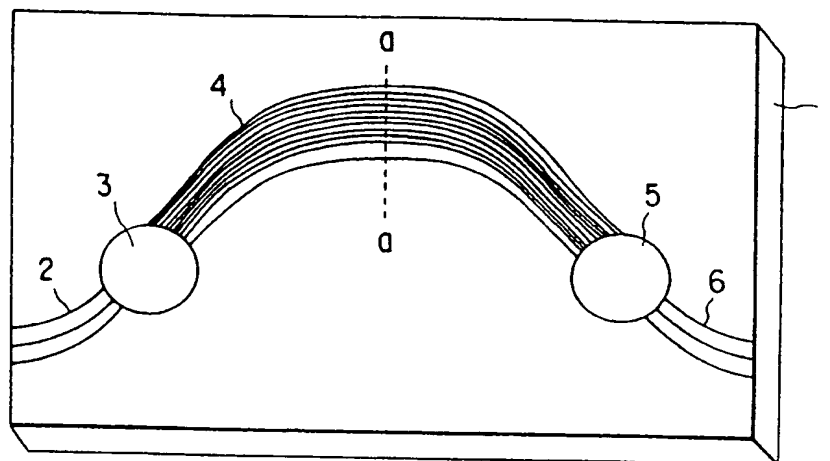


FIG. 1 (従来技術)

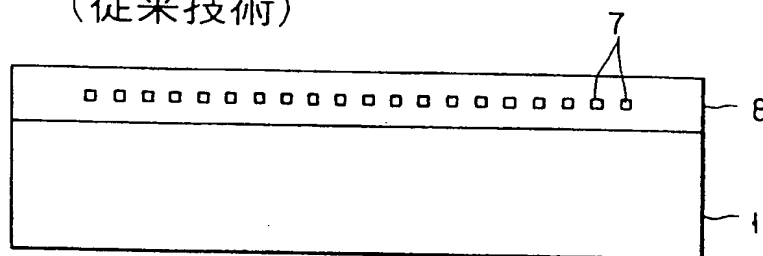


FIG. 2 (従来技術)

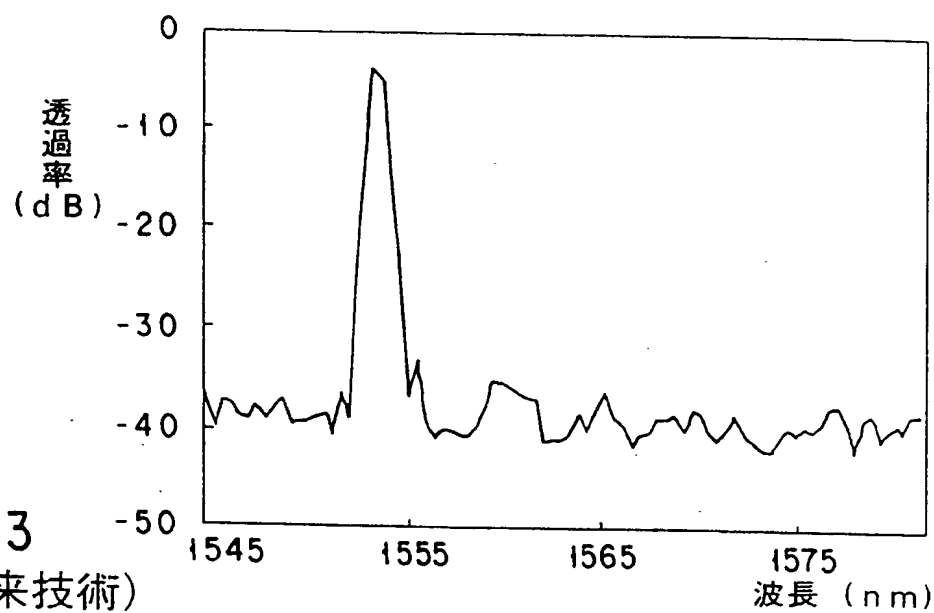


FIG. 3 (従来技術)

2/18

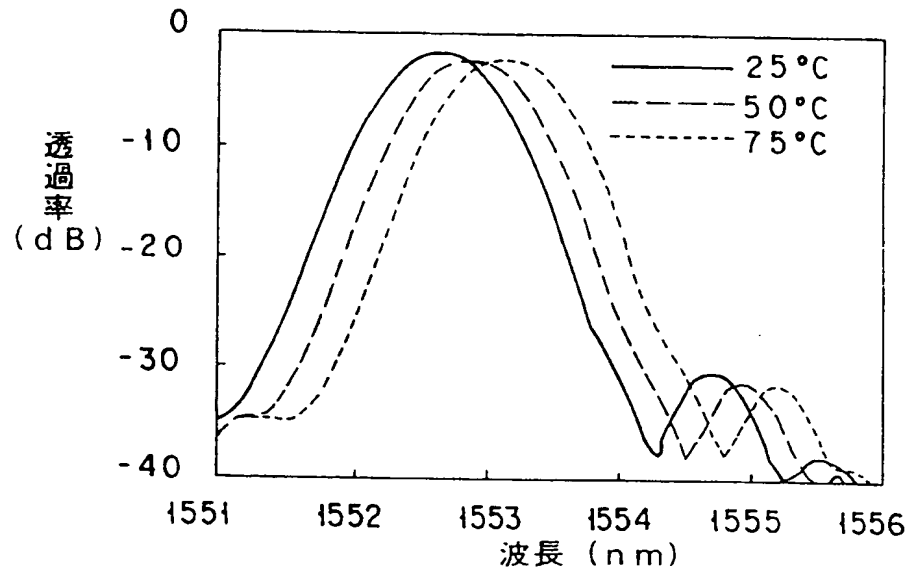


FIG. 4 (従来技術)

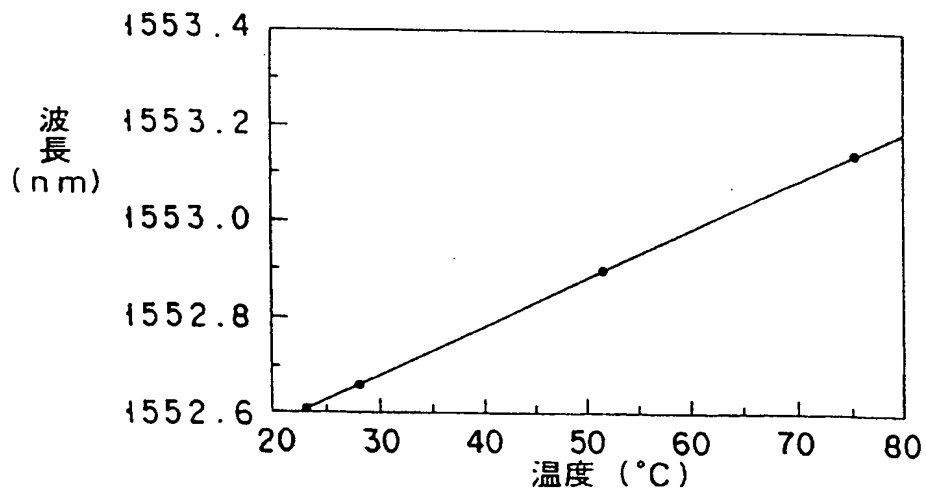


FIG. 5 (従来技術)

3/18

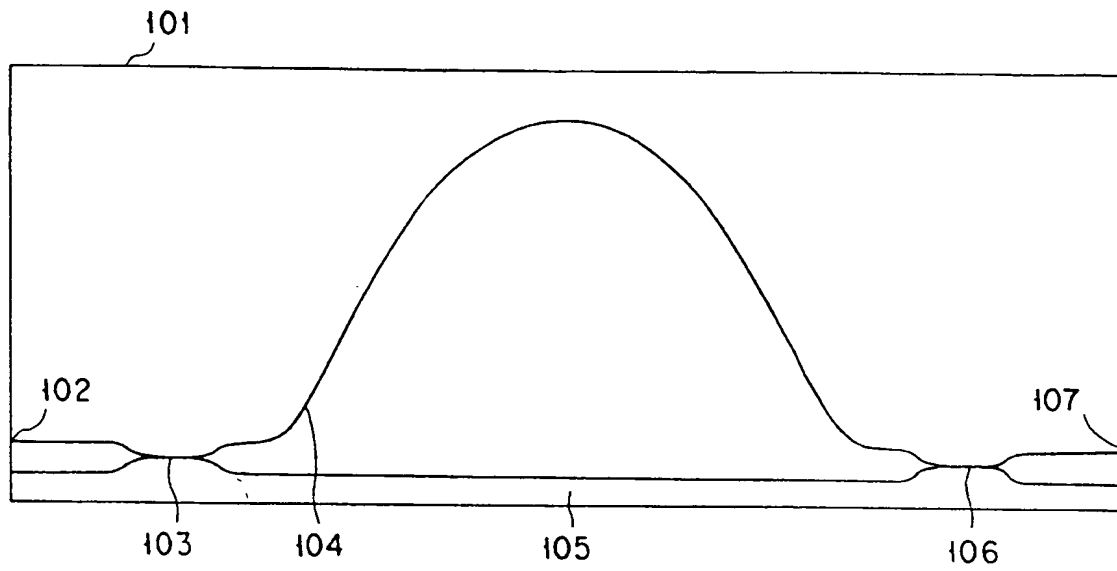


FIG. 6 (従来技術)

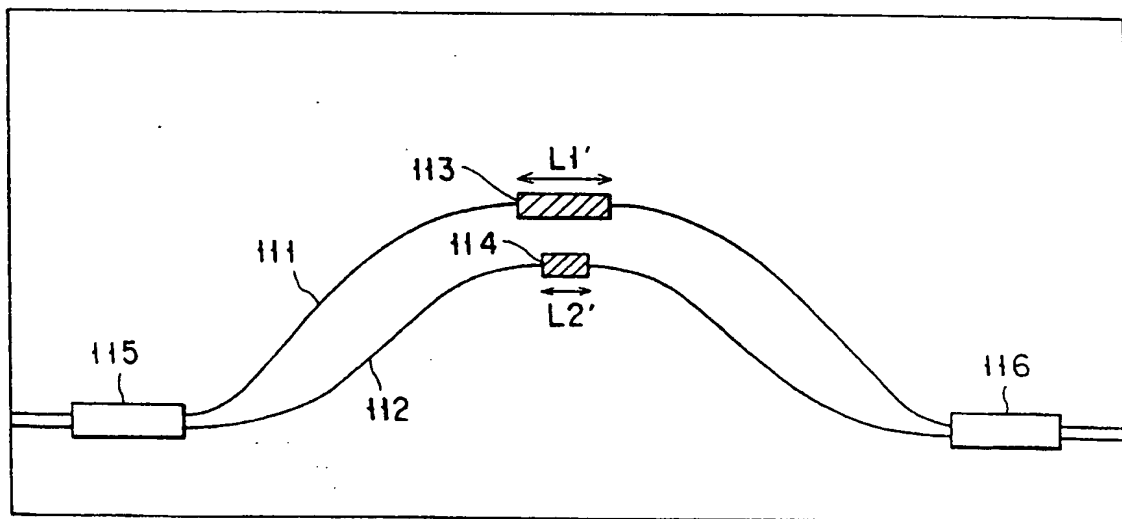


FIG. 7



4/18

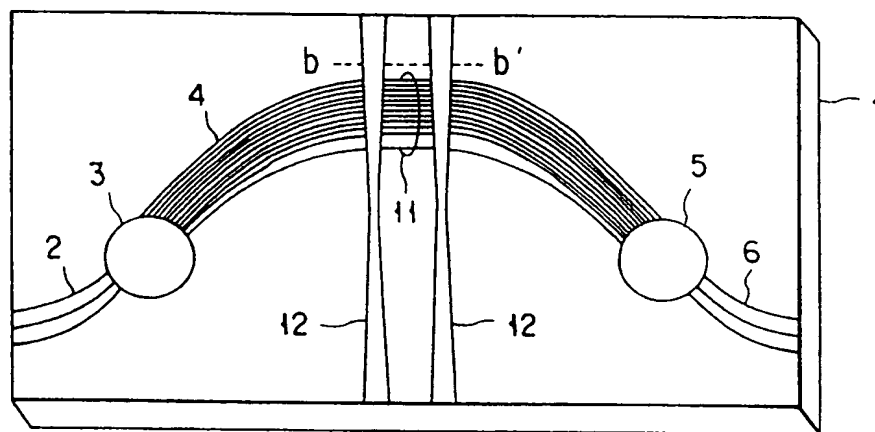


FIG. 8

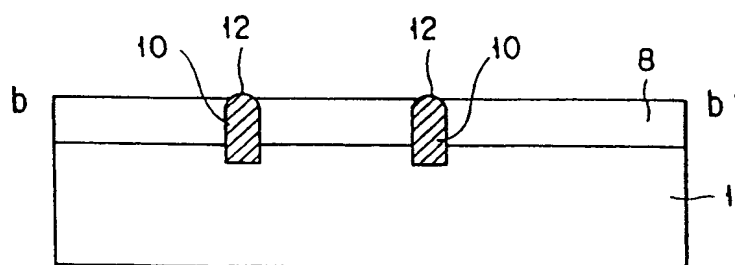


FIG. 9

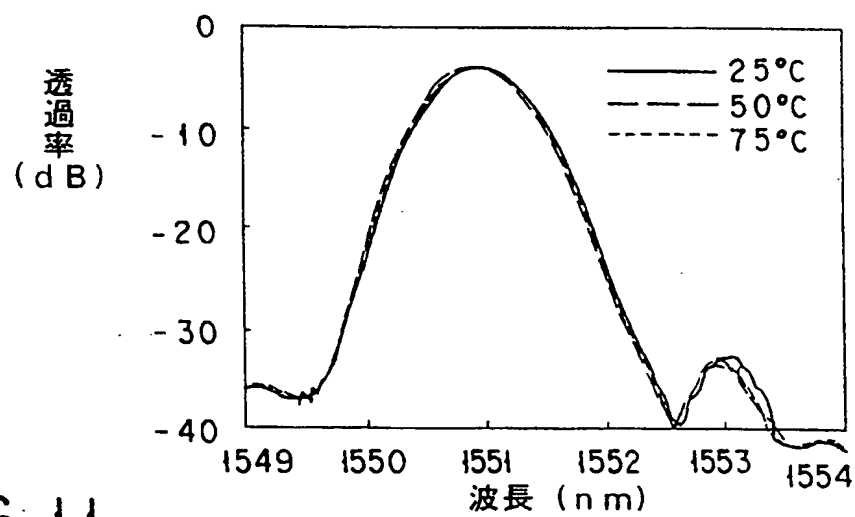


FIG. 11

5/18

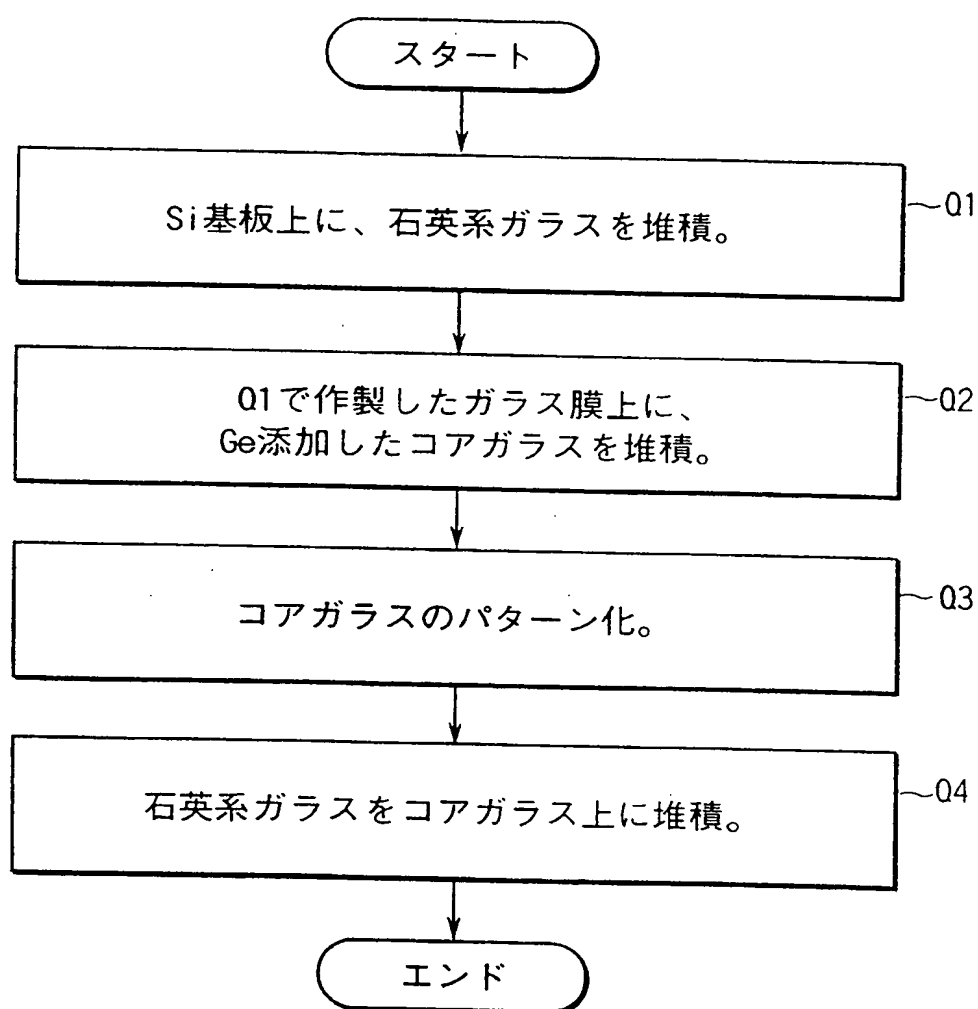


FIG. 10

6/18

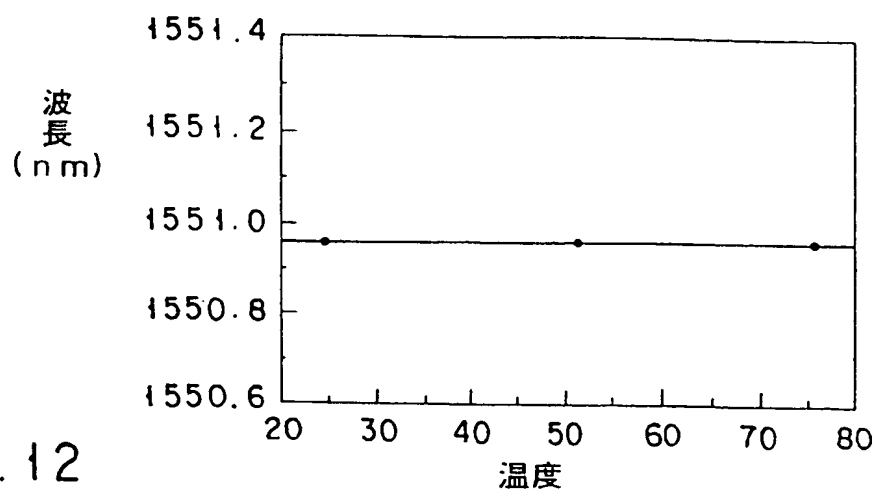


FIG. 12

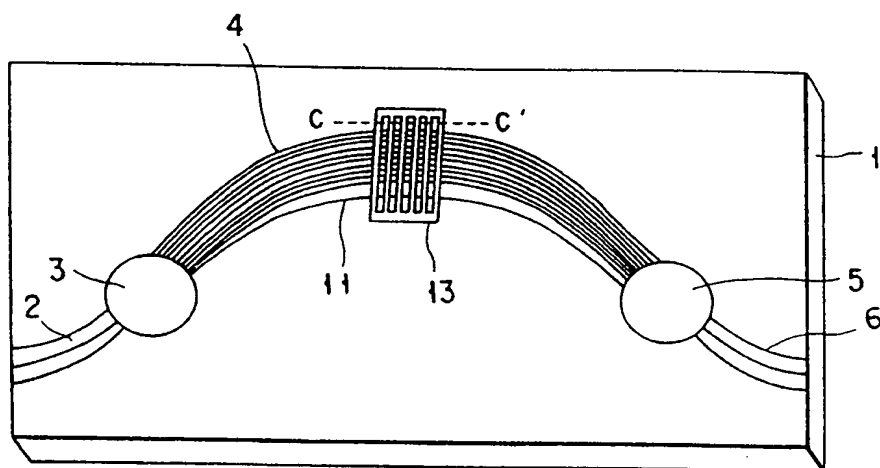


FIG. 13

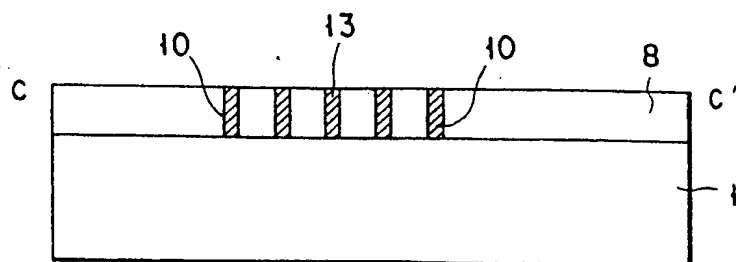


FIG. 14

7/18

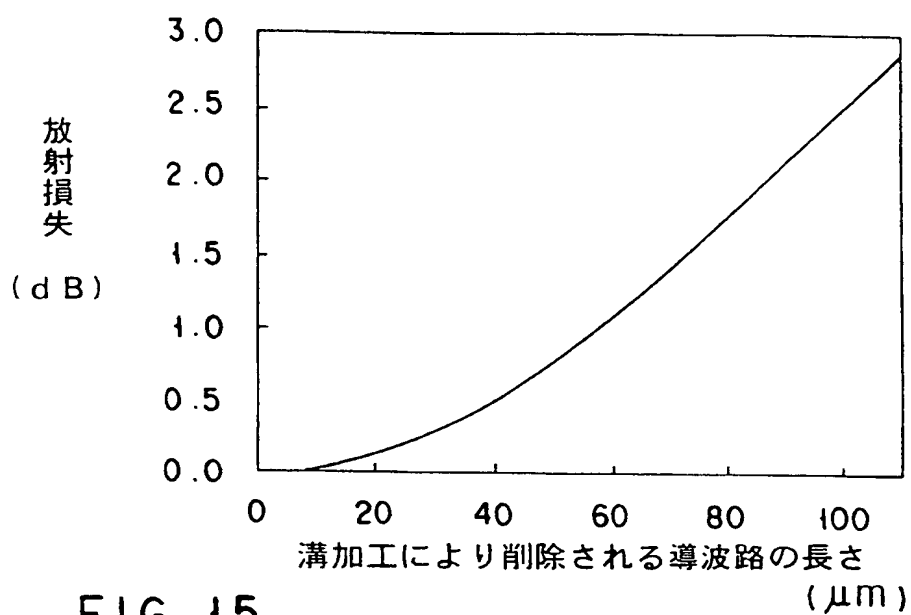


FIG. 15

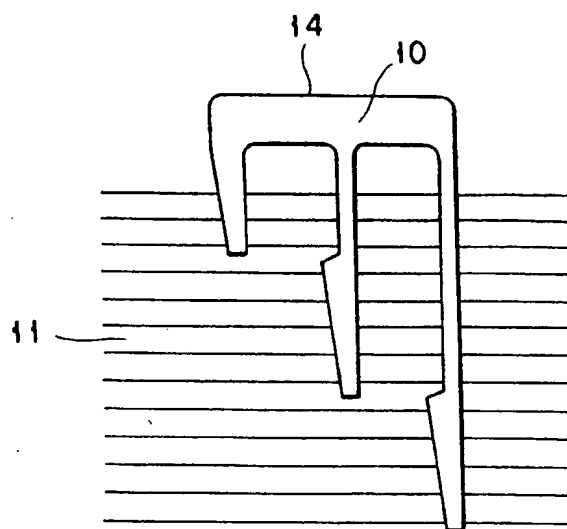


FIG. 16

8/18

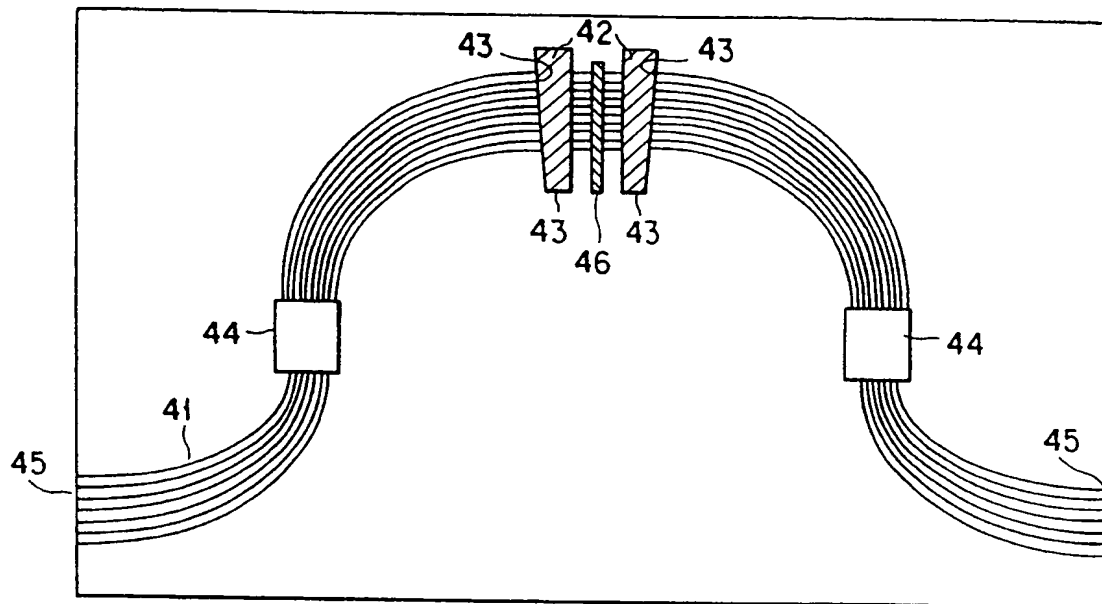


FIG. 17

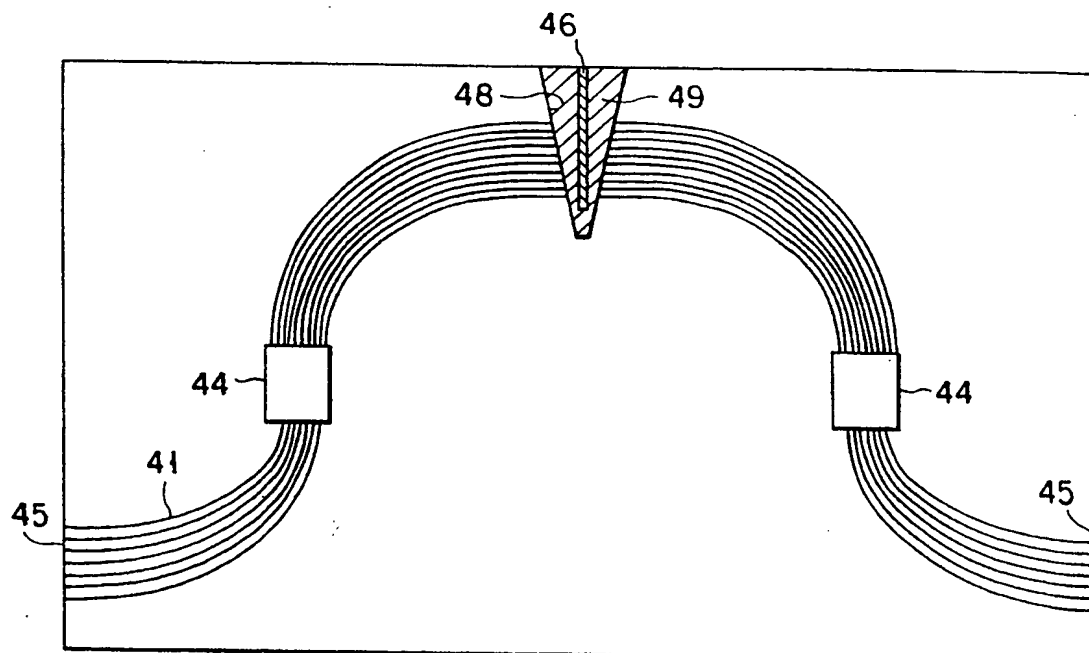


FIG. 18

9/18

FIG. 19

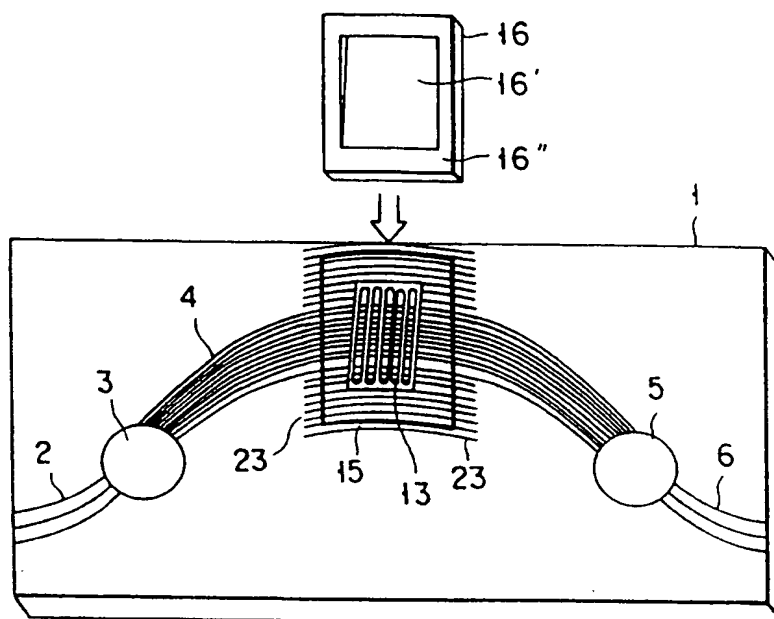


FIG. 20

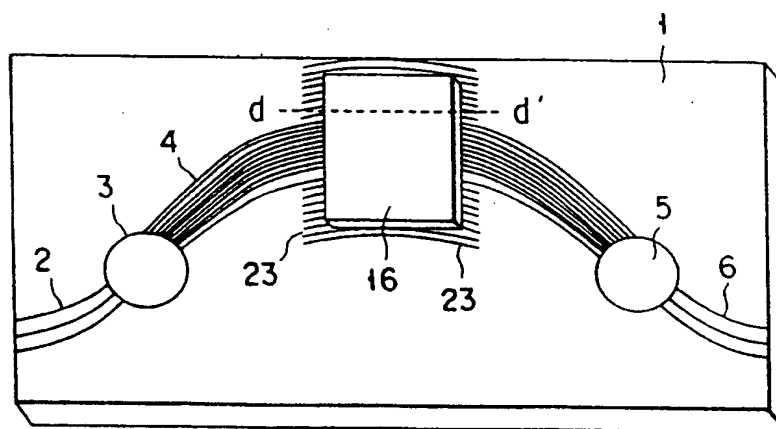
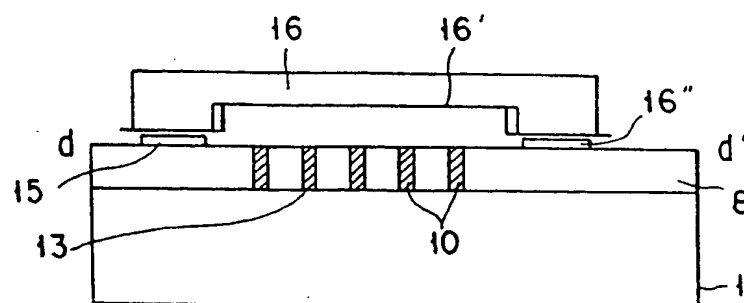


FIG. 21



10/18

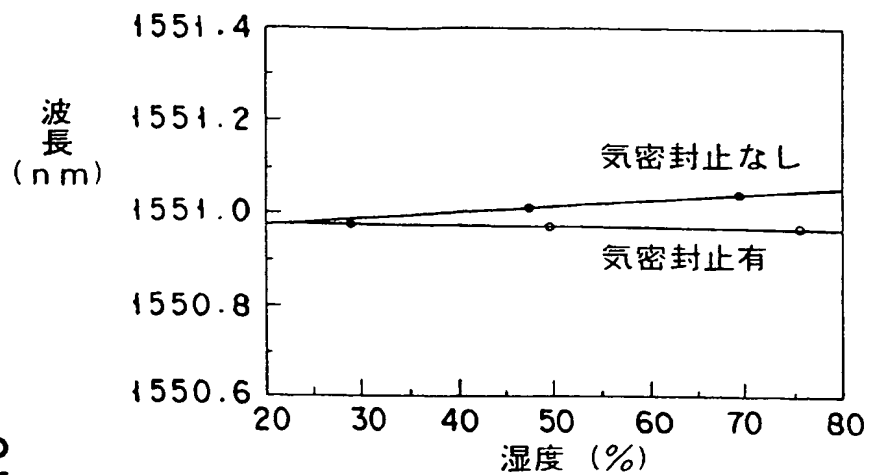


FIG. 22

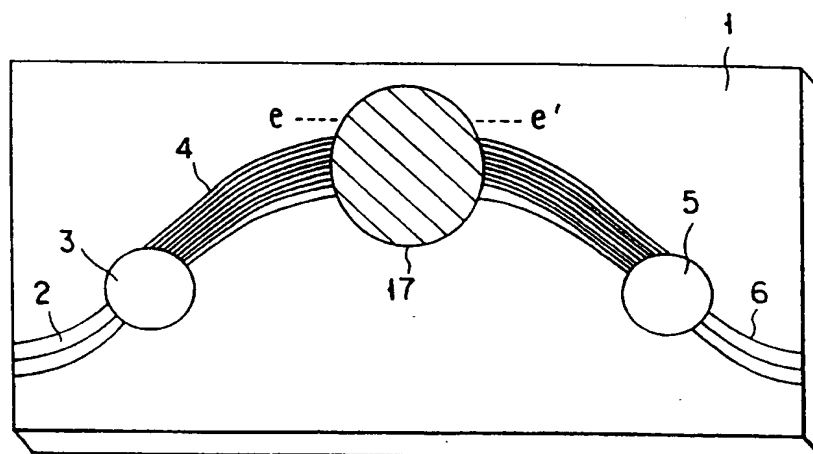


FIG. 23

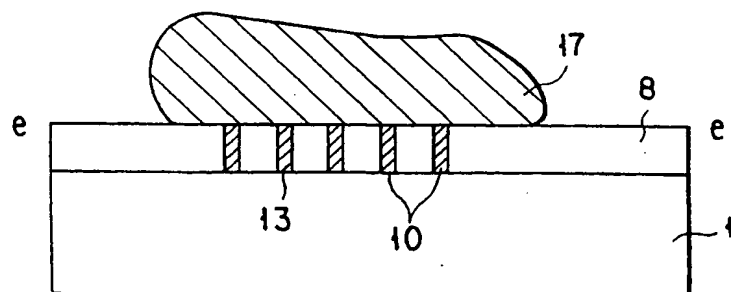


FIG. 24

11/18

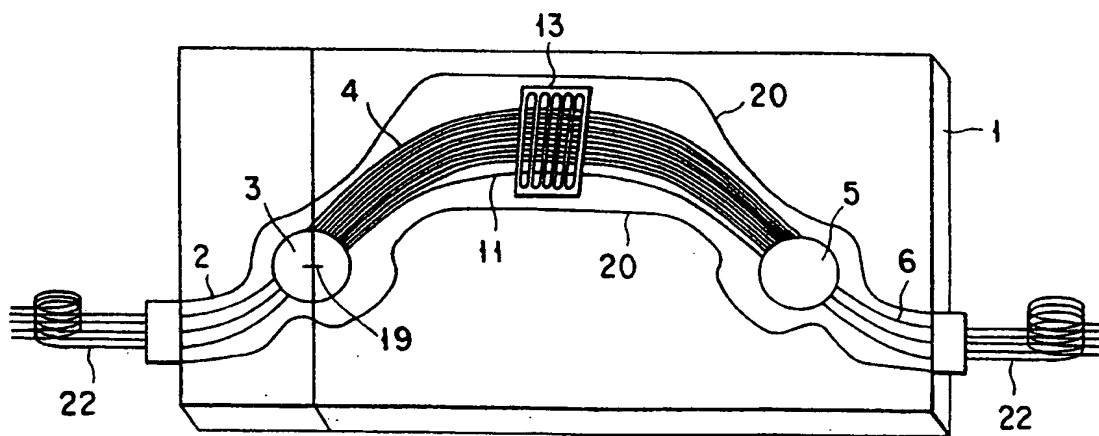
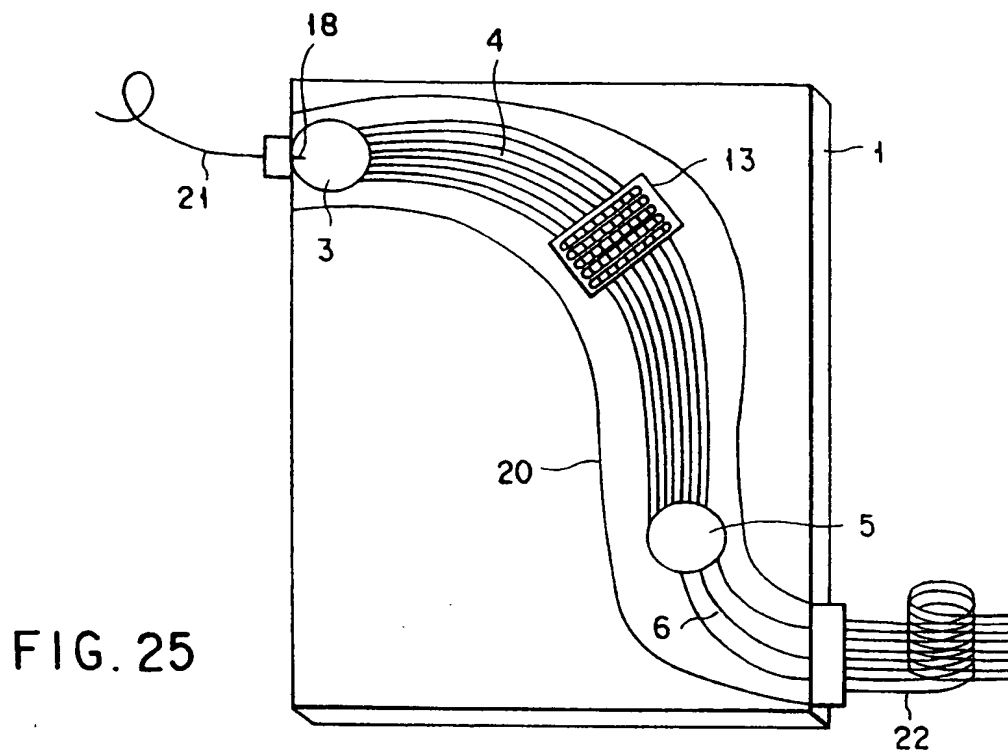


FIG. 26



12/18

FIG. 27

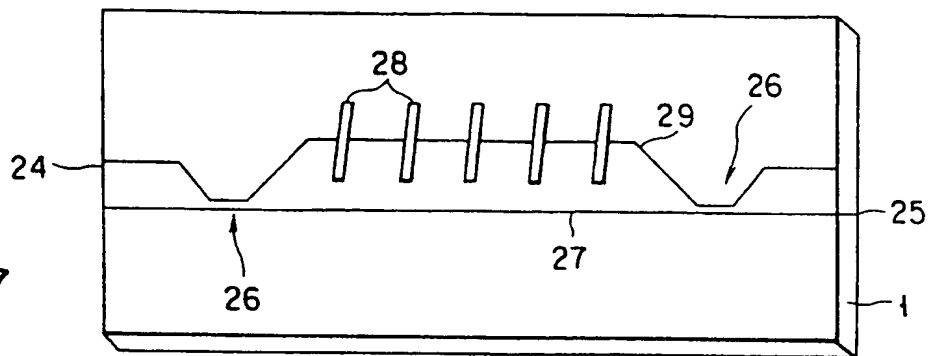


FIG. 28

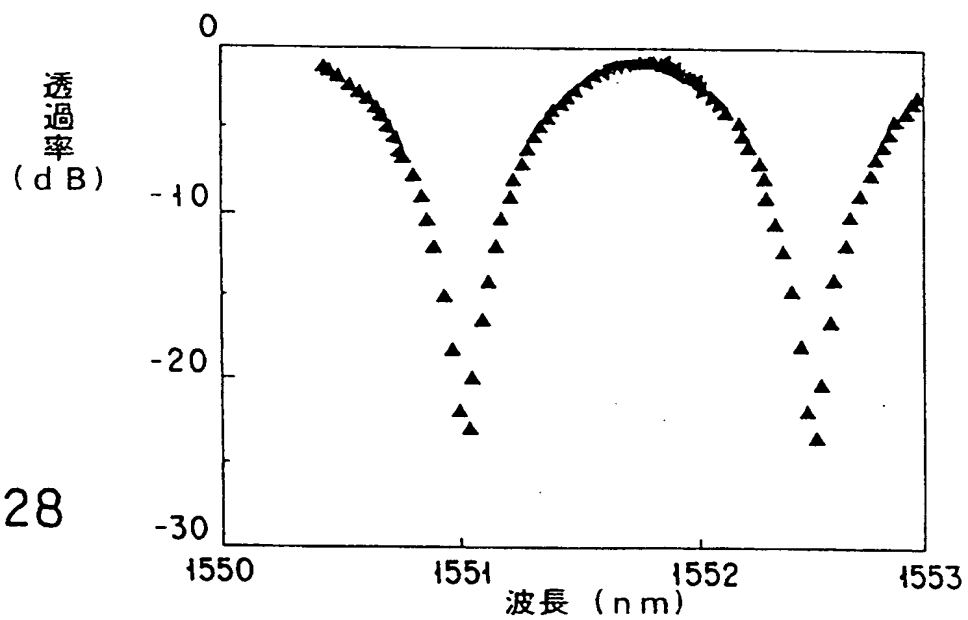
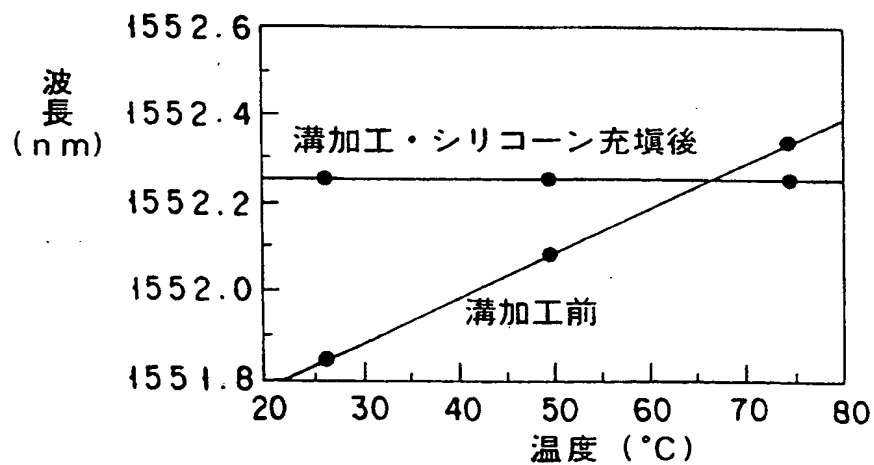


FIG. 29



13/18

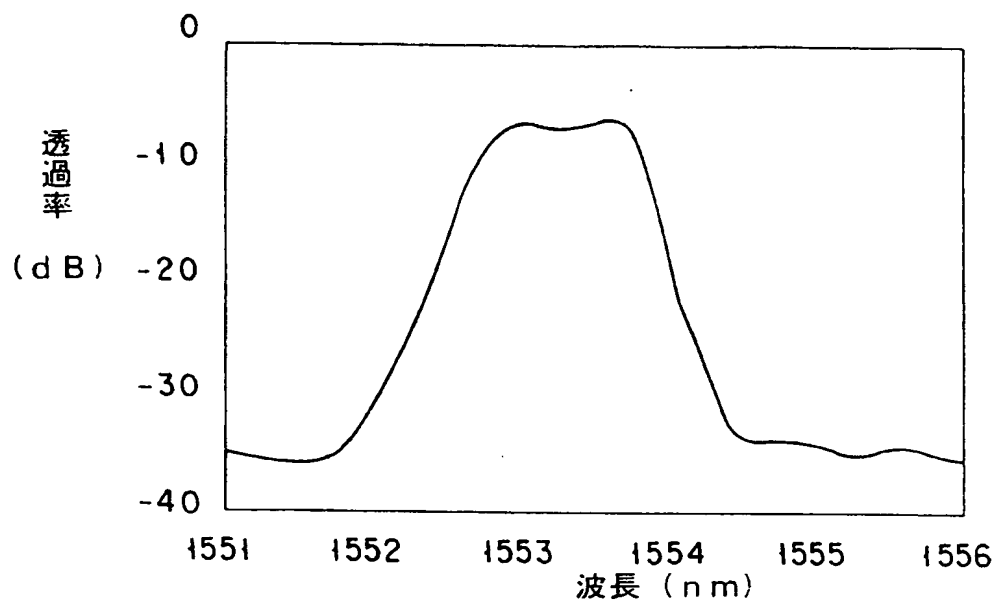


FIG. 30

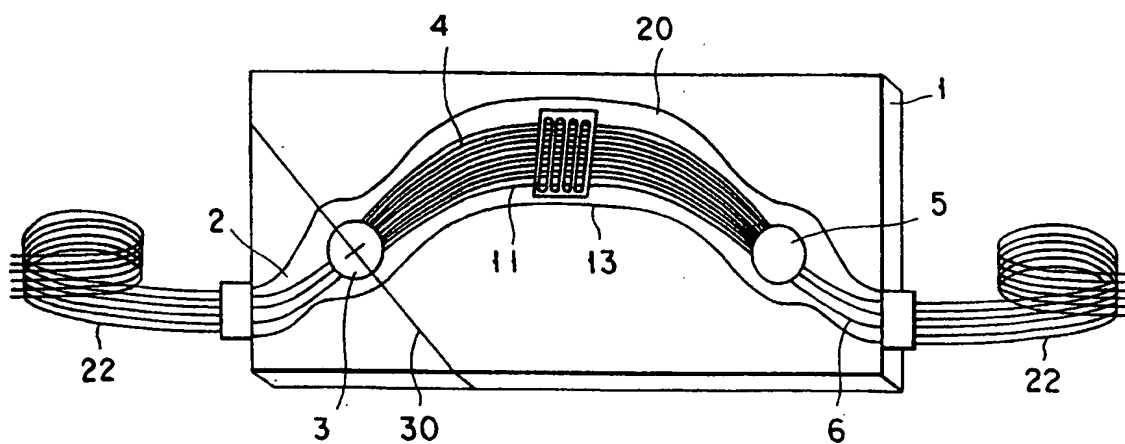


FIG. 31

14/18

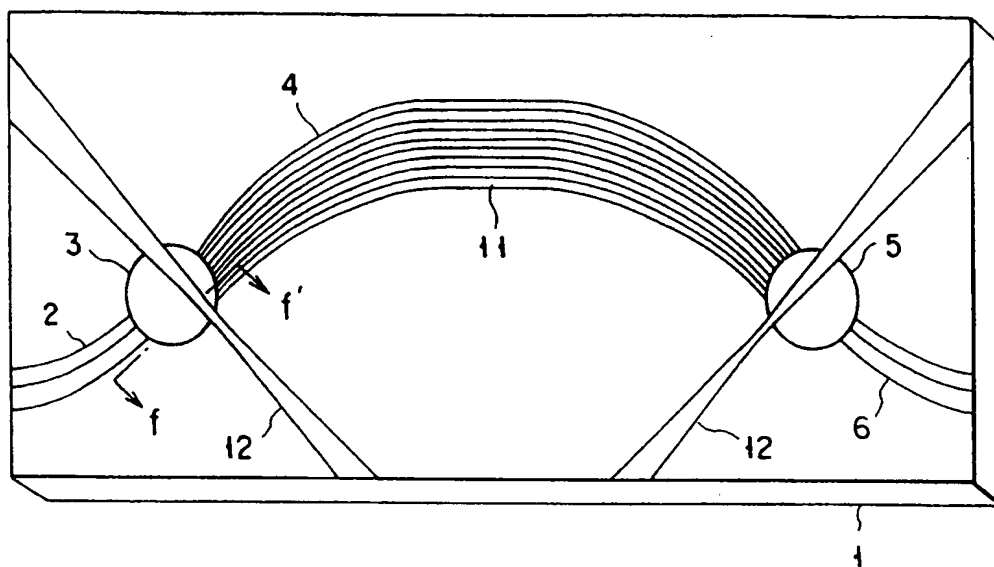


FIG. 32

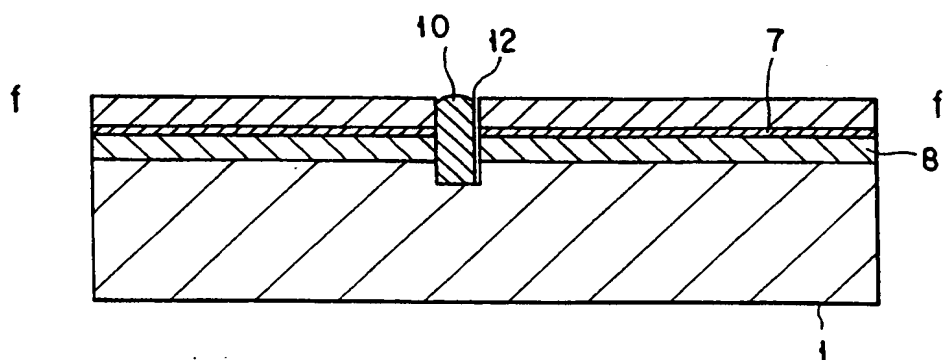


FIG. 33

15/18

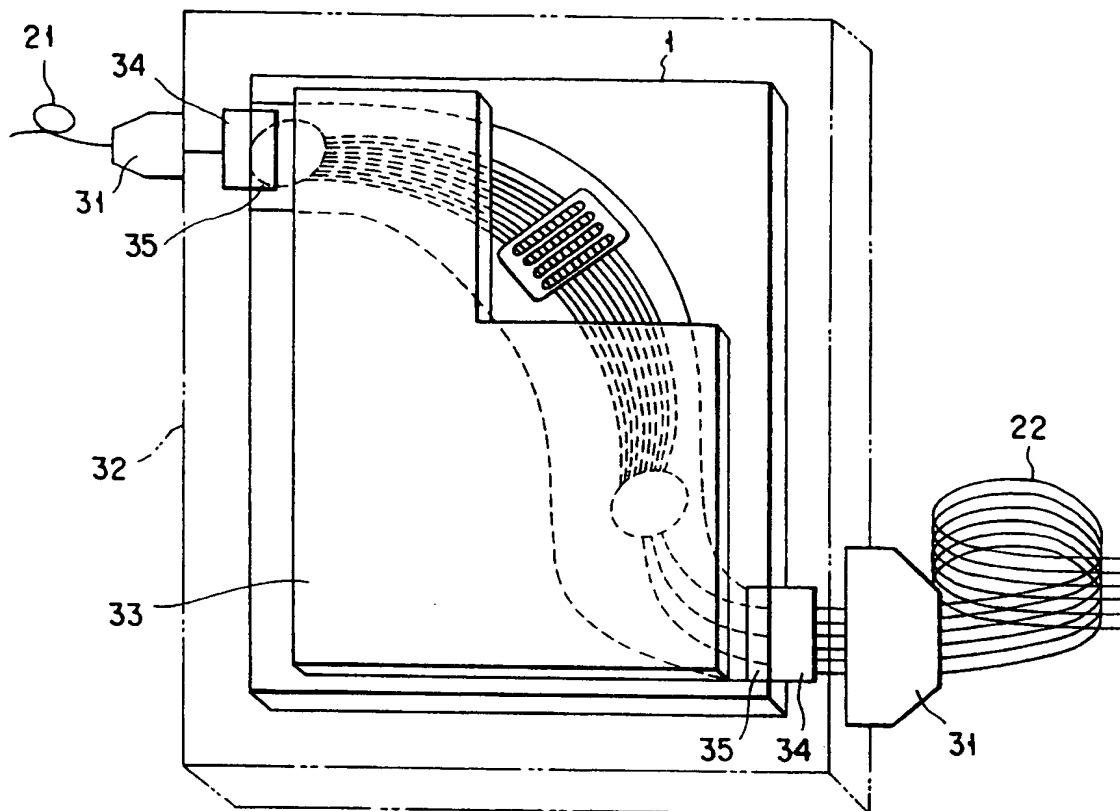


FIG. 34

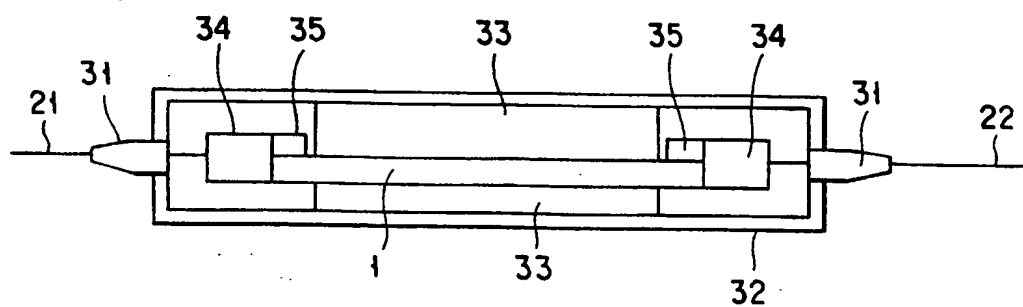


FIG. 35

16/18

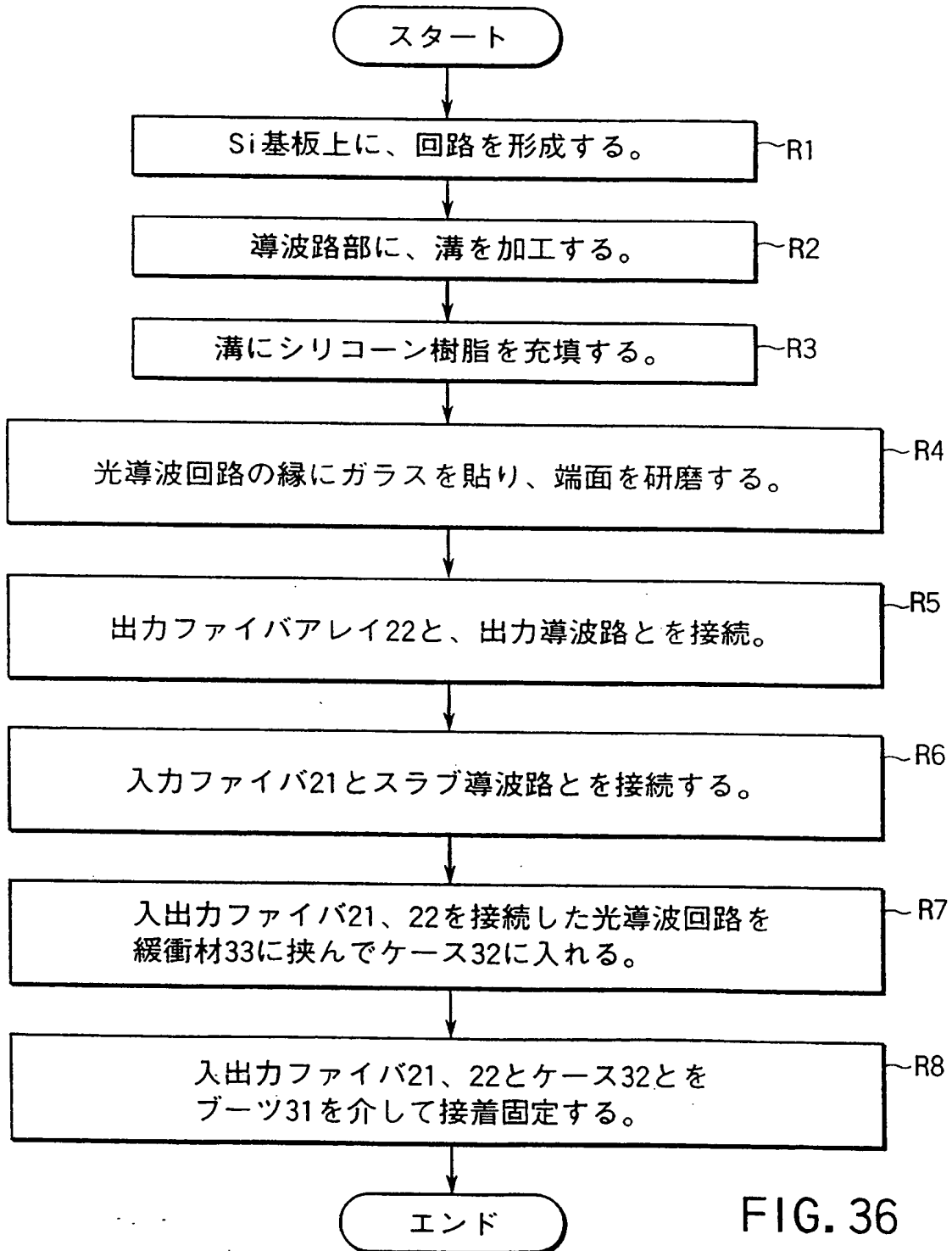


FIG. 36

17/18

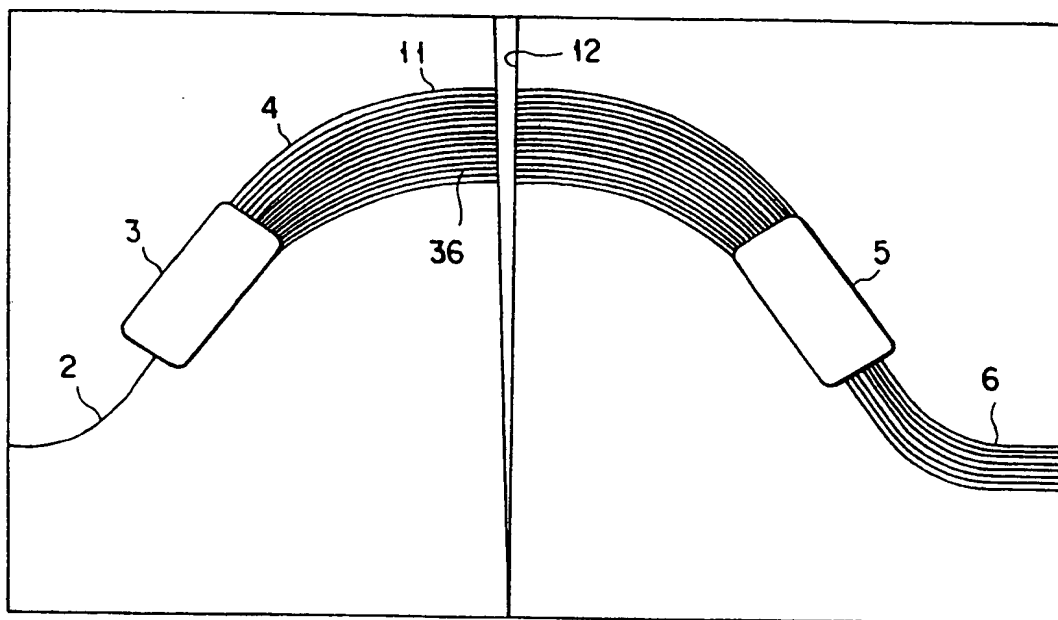


FIG. 37A

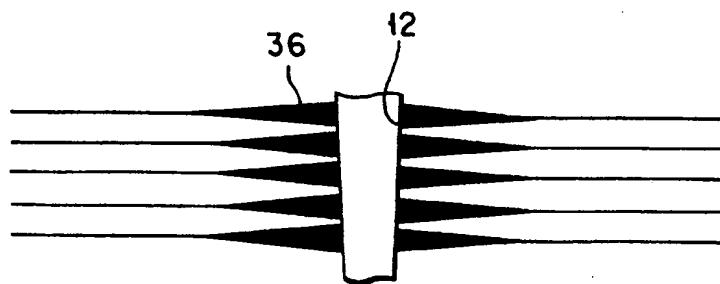


FIG. 37B

18/18

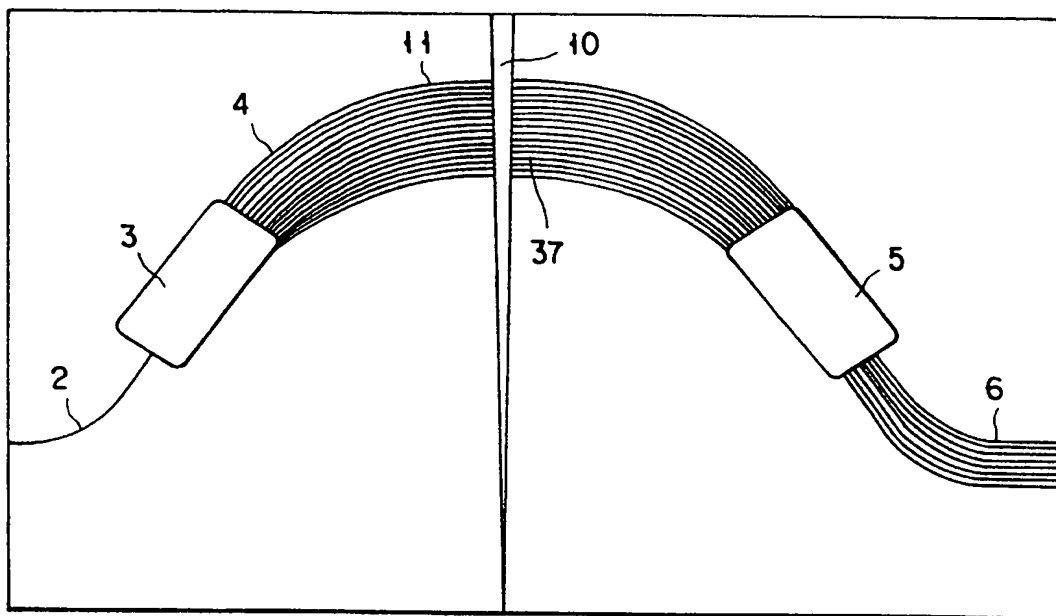


FIG. 38A

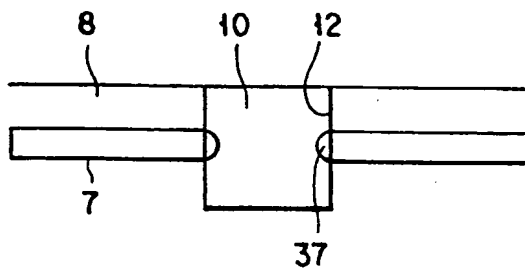


FIG. 38B

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/00626

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>6</sup> G02B6/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>6</sup> G02B6/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1972-1998

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1972-1998

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, 08-334639, A (Hitachi Cable, Ltd.), December 17, 1996 (17. 12. 96), Full text ; Figs. 1 to 7 (Family: none)	1-21

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
May 11, 1998 (11. 05. 98)

Date of mailing of the international search report  
May 26, 1998 (26. 05. 98)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.



## 国際調査報告

国際出願番号 PCT/J P 98/00626

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl <sup>8</sup> G02B 6/12		
B. 調査を行った分野		
調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl <sup>8</sup> G02B 6/12		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの		
日本国実用新案公報 1972-1998 日本国公開実用新案公報 1972-1998		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP, 08-334639, A (日立電線株式会社) 17.12月.1996(17.12.96) 全文, 第1-7図 (ファミリーなし)	1-21
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 先行文献ではあるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願		
の日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日	
11.05.98	26.05.98	
国際調査機関の名称及びあて先	特許庁審査官 (権限のある職員)	2K 9018
日本国特許庁 (ISA/J P)	福島 浩司	印
郵便番号100-8915	電話番号 03-3581-1101	内線 3254
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		